

# Kokowski, Michał

---

## O usiłowaniach Władysława Natansonona zbudowania termodynamiki procesów nieodwracalnych

---

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 42/2, 23-68

---

1997

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Michał Kokowski  
(Kraków)

**O USIŁOWANIACH WŁADYSŁAWA NATANSONA  
ZBUDOWANIA TERMODYNAMIKI  
PROCESÓW NIEODWRACALNYCH  
Z OKAZJI STULECIA SFORMUŁOWANIA  
ZASADY TERMOKINETYCZNEJ NATANSONA<sup>1</sup>**

Twórcze uprawianie tzw. nauk ścisłych, których celem jest poszukiwanie matematycznych modeli określonych klas zjawisk, z konieczności staje się działalnością interdyscyplinarną. Dotyczy ona bowiem nie tylko kwestii ściśle matematycznych i eksperymentalnych, ale i ściśle filozoficznych: epistemologicznych, metodologicznych czy quasi-ontologicznych. Widziana z tej perspektywy historia tzw. nauk ścisłych nie jest jedynie zbiorem już rozwiązanych, a zatem nieciekawych badawczo problemów, czy też bezużyteczną stertą odpadów rozwiązań już przestarzałych, a nawet błędnych, lecz kopalnią fundamentalnych metod twórczej naukowej pracy, wzorcowych przykładów rozwiązań i nierozwiązanych, jak dotąd, fundamentalnych problemów. Twierdząc to, w oczywisty sposób nie zgadzam się z ciągle (niestety) aktualnym wzorcem kształcenia fizyków, hołdującym przeświadczeniu (rodem z pierwszych trzech dekad XX wieku), iż naukowa dyscyplina staje się dojrzałą dopiero z chwilą, gdy wyrastając z myślenia filozoficznego może też zapomnieć o swoich dziejach. By uniknąć nieporozumień, podkreślam, że chodzi mi tutaj o wewnętrzny aspekt *tworzenia fizyki* i związanego z tym ściśle *specyficznego sposobu filozofowania*, a nie o zewnętrzne względem niej interpretacje wyrastające z tzw. filozofii humanistycznej, logicznej czy jakiegokolwiek ideologii. Mając to właśnie na względzie, chciałbym w klarowny sposób ukazać długoletnie poszukiwania przez Władysława Natansona (1864–1937) zunifikowanej teorii zjawisk nieodwracalnych i docenić ich miejsce w dziejach fizyki. Mam bowiem świadomość, iż światowa literatura naukowa niezasłużenie pomija te



badania, których zarówno wyniki, jak i metoda ich osiągnięcia jest przykładem „dobrej roboty” (w sensie Kotarbińskiego). Za motto naszych rozważań niech posłużą nam słowa z listu Natansona do Aleksandra Piekary z 9 II 1935 roku:

„Niechaj pp. B. i C. uczą, że historia nauki „nie ma znaczenia”, że wobec szybkich postępów nauki warto jest czytać tylko „Zeitschrift für Physik” z lutego 1935 roku. Newton jest przestarzały, Kelvin – do podręczników. Przypuśćmy. Ale mnie historia nauki nauczyła sztuki pracy naukowej. Albowiem badanie jest sztuką, jak malarstwo, jak komponowanie muzyczne, tylko najtrudniejsze ze wszystkich. Mnie historia nauki nauczyła, jak naukę cenić, jak naukę trzeba kochać.”<sup>2</sup>

\*

Władysław Natanson<sup>3</sup> po ukończeniu szkoły średniej w 1882 roku w Warszawie, kształcił się następnie w Petersburgu (1882–1886 u m.in.: A. Markowa), Dorpacie (1887–1888 u A. Oettingena), w Cavendish Laboratory (1886–1888 u m.in.: J.J. Thomsona), Strasburgu (1888), Grazu (1889 u L. Boltzmanna)<sup>4</sup>. Następnie w latach 1889–1900 przebywał w Warszawie, a począwszy od 1890 r. do swojej śmierci w 1937 r. pracował na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie, gdzie piastował godność profesora filozofii przyrody.<sup>5</sup>

Podsumowując okres dzieciństwa i młodości w autobiografii, napisanej 29.06.1933 roku, Natanson stwierdził, że największy wpływ na jego naukowe poglądy wywarł jego ojciec Ludwik i starszy brat Edward, a pod koniec tego okresu Władysław Gosiewski z Warszawy i prof. August W. Witkowski z Krakowa (od 1889 roku). Tym niemniej, Natanson – jak sam twierdził – na ogół był, i pozostał przez całe życie samoukiem.

„Ani w szkole, ani na Uniwersytecie, ani podczas pielgrzymki po świecie, nie umiałem, nie potrafiłem, nie miałem szczęścia być uczniem. Już wówczas rozumiałem, że będzie to dla mnie wielkim brakiem na przyszłość. Z żalem widziałem (i dziś znowu widzę), że byłem samoukiem, że miałem i mam wszystkie braki i wady samouka. Głębsza przyczyna tego niedostatku mego przygotowania była prawdopodobnie jakowaś wewnętrzna właściwość umysłu, która sprawiła, że byłem sobie istotnym nauczycielem; sam sobie byłem przewodnikiem, słabym naturalnie i niedoświadczonym.”<sup>6</sup>

By zaradzić tego typu „brakom”, Natanson stale będzie poszukiwać inspiracji u najwybitniejszych fizyków. Stąd w *Autobiografii* Natansona znajdujemy takie też słowa:

„Przez całe jednak życie starałem się ze wszystkich sił uczyć od najwyższych Mistrzów, chociażby już Ich dawno nie było na ziemi. Ileż nauczyłem się tym sposobem od Newtona, od Lagrange’a, Kelwina, Clausiusa, od J. W. Gibbsa, od G. G. Stokesa, od Lorda Rayleigh, P. Duhema, H. A. Lorentza. Najpierwszym, umiłowanym wzorem i wodzem był zawsze J.

Clerk-Maxwell. Obcowanie z dziełami genialnych twórców pozostawia w umyśle i w duszy ślady i skutki, którym mym zdaniem, żadne wykłady – seminaryjne, zagraniczne – wydać nie mogą.”<sup>7</sup>.

Tak też było w istocie i przez całe swoje życie Natanson wczytywał się uważnie w prace całej plejady wybitnych uczonych i, powołując się na ich dokonania, systematycznie je uogólniał.

Dorobek naukowy Natansona obejmuje 142 prace z zakresu różnych dziedzin fizyki: zunifikowanej teorii zjawisk nierównowagowych (ponad 60 publikacji), optyki (około 30) oraz mechaniki kwantowej, zwanej przez niego mechaniką undulacyjną (3), czy teorii fluktuacji termodynamicznych i ruchów Browna (1)<sup>8</sup>.

\* \*

Działalność naukową Natansona związaną z interesującym nas tutaj tematem poszukiwań zunifikowanej teorii zjawisk nierównowagowych można podzielić na sześć okresów<sup>9</sup>: (1) 1879–1887, (2) 1887–1889, (3) 1889–1895, (4) 1895–1902, (5) 1903–1904, (6) 1905–1937<sup>10</sup>.

#### LATA 1879–1887

W pierwszym okresie Władysław Natanson współpracował naukowo ze swoim starszym bratem Edwardem. Ich wspólne zainteresowania dotyczyły m.in. wartościowości chemicznej i jej zmienności (1880), teorii kinetyczno-molekularnej (1881–1883), badań eksperymentalnych nad dysocjacją (1884–1886). Owocem tych ostatnich zainteresowań były dwa artykuły pt. *Badania nad dysocjacją dwutlenku azotu* (1885) i *Dalsze badania nad dysocjacją dwutlenku azotu* (1886)<sup>11</sup>.

Zacytujmy tutaj wstęp do pierwszego z wymienionych wyżej artykułów, który dowodzi, iż Natansonowie doskonale zdawali sobie sprawę z dwóch istotnych kwestii. Otóż zasadniczym warunkiem twórczej pracy na polu takich nauk, jak fizyka, chemia, jest ściśle powiązanie eksperymentowania i myślenia teoretycznego, a nie mniej ważnym warunkiem jest nawiązanie do całej możliwej dostępnej literatury przedmiotu:

„Zjawisko dysocjacji jest najprostszym ze wszystkich znanych zjawisk chemicznych, a stan gazowy jest dla wnioskowań naukowych najdostępniejszym stanem skupienia materii. Teoria zatem materialistyczna, mająca roztrząsnąć zjawiska chemiczne z dynamicznego punktu widzenia, badania doświadczalne, skierowane ku wykryciu praw, rządzących mechanizmem reakcji, zarówno winny zwracać się przede wszystkim ku badaniom dysocjacji gazów.

Jakież są wyniki zdobyte w tej dziedzinie? Teorii dysocjacji w ogóle, a w szczególności dysocjacji gazów, mamy już kilka. Podali je z kolei Pfaundler, Lemoine, Gulberg i Waage, Horstmann, Hicks, Gibbs, van der

Waals, Moutier, Boltzmann, wreszcie ostatni J.J.Thomson [pomijam odnośniki do prac tych autorów – *M.K.*]. Rozpatrzenie i zestawienie tych prac teoretycznych nie może znaleźć miejsca w niniejszej pracy ze względu na różnorodność owych dziesięciu teorii, które z odrębnych punktów wyjścia i różnymi drogami postępowania rozwinięte zostały, jest to zadanie, którego wypełnienie byłoby niewątpliwie trudnym, lecz pożądanym. Na tym miejscu przestaniemy na uwadze, że pomimo tych prac teoria dysocjacji gazów znajduje się dotychczas w początkach. Jest to po części skutkiem znacznych trudności, które zagadnienie to przedstawia dla analizy, lecz bez wątplenia stan teorii pochodzi głównie stąd, iż same zjawiska doświadczalne poznane są nadzwyczaj jeszcze niezupełnie.”<sup>12</sup>.

### LATA 1887–1889

W drugim okresie szczególnym przedmiotem zainteresowań Natansona staje się kinetyczna teoria gazów i mechaniczna teoria ciepła. Poświęca tym tematом 15 prac, analizując z perspektywy teorii kinetycznej m.in.: zagadnienie gazów niedoskonałych, efekt Joule’a oraz zagadnienie dysocjacji w gazach. Za pierwsze dwie z tych prac otrzymuje u profesora A.Oettingena na Uniwersytecie w Dorpacie, odpowiednio, tytuł magistra (1887) i doktora (1888).

W odczycie z roku 1888 pt. *Uwagi nad drugim prawem mechanicznej teorii ciepła*<sup>13</sup> Natanson rozważa zagadnienie asymptotyczności zjawisk nierównowagowych. Chciałby on znaleźć ściśle ilościowe prawa, które rządzą procesem dążenia układu do równowagi termodynamicznej. A wiadomo, że prędkości cząstek gazu zmierzają wtedy stopniowo do Maxwellowskiego rozkładu prędkości. Ale jak się to odbywa, z jaką prędkością dzieje się ten proces – zapytuje za Boltzmannem Natanson – „Według jakich praw następują po sobie kolejne stany przejściowe? i kiedy zostaje osiągnięty stan ostateczny?”<sup>14</sup> Ponieważ druga zasada mechanicznej teorii ciepła wynika z rachunku prawdopodobieństwa, wymiana energii, jaka zachodzi między molekułami, prowadzi gaz do pewnego celu, „prowadzi drogą, z której nie można zawrócić. Wszystko to jest więc nieodwracalne: stan, który był kiedykolwiek, nie powtórzy się nigdy i coraz nowe stany, choć coraz mniej różne od siebie, kolejno następować po sobie będą i tak dziać się będzie do nieskończoności.”<sup>15</sup>.

Zdaniem Natansona, nie jest bynajmniej błahą sprawą ustalenie, jak ów proces się odbywa, tzn. jakie będą obowiązywać w tym przypadku zależności matematyczne między określonymi, istotnymi i mierzalnymi wielkościami fizykalnymi, które rządzą zjawiskiem.

„Powie ktoś może, że praktycznie rzecz to drugorzędna i że możemy do celu ostatecznego zbliżyć się bardzo, czekając dostatecznie długo. Lecz wiele, mało, daleko, blisko, – to pojęcie, które dla teorii nie istnieje. Milionowa część stopnia różnicy temperatur jest mała tylko dlatego, że przyjęliśmy stopień za jednostkę; miliardy lat są długie tylko dlatego, że

przyjeliśmy rok za jednostkę. Tak różna jest milionowa część stopnia od zera, jak miliardy lat od nieskończoności.”<sup>16</sup>.

Problem nieodwracalności manifestuje się w ogromnej ilości obserwowanych zjawisk przyrody. Dlatego poszukiwanie matematycznej teorii tego typu zjawisk jest niezmiernie ważne. Dlatego też temat ten staje się zasadniczym przedmiotem badań Natansona i przez wiele kolejnych lat jego podstawowym celem naukowym będzie odkrycie (o ile to tylko możliwe) ścisłych, matematycznych praw rządzących tego typu zjawiskami.

### LATA 1889–1895

W trzecim okresie Natanson publikuje podręcznik akademicki o klasycznej fizyce oraz dodatkowo 15 artykułów.

Wspomniany podręcznik (pisany w Warszawie od wiosny 1889 r. do lata 1890 r.) nosi tytuł *Wstęp do fizyki teoretycznej*.<sup>17</sup> Obejmuje on następujące zagadnienia i teorie: zasady dynamiki, zagadnienie ciężkości (czyli we współczesnej terminologii – grawitacji), zagadnienie energii, zasady termodynamiki, stany materii, reakcje (pod tym tytułem kryją się przemiany fazowe i reakcje chemiczne) i teorie cynetyczną (kinetyczną) materii. Choć Natanson podejmował w nim klasyczne w dużej części tematy, jest to podręcznik bardzo nietypowy i to nie tylko jak na dzisiejszą, ale i ówczesną modłę. Obliczenia matematyczne i dane eksperymentalne są tam bowiem przeplatane systematycznie rozważaniami na temat filozofii fizyki. Otwiera go bardzo dobra i zwięzła analiza metodologiczna struktury fizyki. Co więcej, Natanson w swym podręczniku stosuje także podejście historyczne, by, po pierwsze, naświetlić genezę pojęć czy problemów i, po drugie, ukazać piękno poszukiwań badawczych, których celem jest rozwiązanie, jak dotąd nierozwiązanych, fundamentalnych problemów fizyki. A tego typu sytuacjom przyświecają słynne słowa Newtona, cytowane przez Natansona:

„Nie wiem, co powie o mnie kiedyś potomność; lecz wydawałem się samemu sobie jak gdyby dzieckiem, które nad brzegiem morza się bawi. Cieszyłem się, gdym znalazł kamyk gładzy lub piękniejszą muszelkę; a tymczasem Ocean Prawdy rozciągał się tajemniczo przede mną.”<sup>18</sup>.

Natanson, niewątpliwie, ceni sobie wysoko newtonowską dynamikę, która przez długi czas, pełniąc rolę zasadniczego sposobu rozpatrywania zjawisk, była podstawowym systematem Natury. Ale obecnie – napisze Natanson – istnieje już ogólniejszy systemat.

„»Newton«, jak rzekł Lagrange, »był nie tylko największym, lecz i najszczęśliwszym z pomiędzy myślicieli; albowiem teorię przyrody raz tylko można utworzyć«. Być może, iż Lagrange nie wypowiedziałby już dzisiaj tej myśli. Wprawdzie naukę Newtona następne pokolenia rozwijały tylko

i uzupełniały, zasady jego zachowując niewzruszone i jak gdyby niezmiennne. Atoli, gdy do całych szeregów faktów systemat Newtona bezpośrednio stosowany być nie mógł, powstał obok niego systemat, który przewyższa go ogólnością.”<sup>19</sup>.

Tym nowym, ogólniejszym systematem jest energetyka. Gdy podstawowymi abstrakcjami dynamiki są *czas* i *przestrzeń*, *materia* i *siła*, w energetyce jest nią *energia*.

„W Energetyce, w miarę kierunku, jaki obieramy, uważamy zjawiska bądź za przenoszenie się energii z jednych części przestrzeni do innych, bądź za przenoszenie energii z jednych części materii do innych, bądź wreszcie za przekształcanie się energii. Badając przekształcenie się energii, poznano prawa przyrody, obszerniejsze, ogólniejsze od wszystkich praw, przedtem znanych. Wynika to stąd, że, podczas gdy nie wszędzie dostrzegamy zjawiska ruchu i działanie sił, wszędzie przeciwnie możemy wystawić sobie przepływy i przemiany energii, które, jak się przekonywamy, ulegają stale jednakowym prawom.”<sup>20</sup>.

Najważniejszą częścią energetyki jest termodynamika, z której sformułowaniem dwóch jej fundamentalnych zasad (zachowania energii i zasady wzrostu entropii systemu) wiąże się też powstanie energetyki. Ale:

„Tych praw nie znamy jeszcze w pełnej rozciągłości. Znamy dotychczas przeważnie prawa równowagi pomiędzy różnymi formami energii; Energetyka znajduje się więc dzisiaj na poziomie Statyki w systemacie Newtona.”<sup>21</sup>.

Dzieje się to dlatego, że energetyka rozważa jedynie wartości parametrów stanu, a zaniedbuje ich pochodne. Zatem istnieje zasadnicza sprzeczność między obserwacją a teorią: obserwujemy w przyrodzie ogromną ilość zjawisk nieodwracalnych, natomiast teoria może modelować ilościowo jedynie zjawiska odwracalne. Na tym też polega fundamentalna słabość energetyki i termodynamiki:

„Dotarliśmy tu do zagadnień, które leżą na krańcach nauki dzisiejszej. Termodynamika wzniesie się kiedyś od dzisiejszego badania stanów równowagi do poznania praw, według których przeradzają się kolejno stany nierównowagi w coraz dalsze stany nierównowagi lub równowagi; czyli do zbadania praw „ruchu termodynamicznego”. Kto odkryje te prawa, zasłuży na podziw i wdzięczność potomności odległej; lecz dziś zadowolić musimy się przypuszczeniem, że istnieją ogólne prawa, według których energia się rozprasza.”<sup>22</sup>.

Pisząc te słowa, Natanson był oczywiście głęboko przeświadczony, że odkrycie głębszych praw przekształcania się energii jest możliwe.

Szkicując w artykule 85 omawianego podręcznika zagadnienie rozpraszania energii, Natanson w taki oto sposób dokonuje następujących terminologicznych wyborów:

„Nazwijmy zjawiska odwracalne – *nie rozpraszającymi*; zaś nieodwracalne – *rozpraszającymi*. Możemy teraz mierzyć stopień nieodwracalności, możemy odróżniać zjawiska, mniej rozpraszające, od bardziej rozpraszających. Czyste przewodzenie ciepła, lub promieniowanie ciepła, czysta zamiana pracy na ciepło przez tarcie lub przez uderzanie, – stanowią przykłady zjawisk, w których *całkowita*, w grę wchodząca energia jednego rodzaju (bądź nagromadzona, bądź mechaniczna) *rozprasza się*, a żadna jej część nie przeobraża się w energię przeciwnego rodzaju (mechaniczną, bądź nagromadzoną). Są to zatem zjawiska *najbardziej rozpraszające*. Widzimy teraz, że zjawiska „najbardziej rozpraszające” i zjawiska odwracalne – to dwa krańce zjawisk nieodwracalnych. Pierwsze są *najbardziej* możliwie rozpraszającymi: według zasady zachowania energii niemożliwe są bardziej od nich rozpraszające zjawiska; nie możemy rozproszyć energii więcej, niż nam dano. Drugie są *najmniej* możliwie rozpraszającymi, mianowicie wcale nie rozpraszającymi.”<sup>23</sup>

Podsumowując rozdział poświęcony analizie reakcji (fazowych, jakbyśmy to wyrazili obecnie, i chemicznych), Natanson powie: „Poznanie czynników, od których zależy szybkość reakcji, i wyznaczenie doniosłości ich wpływu, jest tylko jednym z zadań, których Termodynamika dziś wcale badać jeszcze nie umie, które rozwiąże Termodynamika doskonalsza, ogólniejsza, o jakiej mówiliśmy w artykule 85.”<sup>24</sup>

Obok rozważań na temat dynamiki Newtona, energetyki i termodynamiki, stanów materii i reakcji, Natanson poświęcił duży rozdział teorii kinetycznej materii, ukazując jej genezę, rozwój aż po precyzyjny wykład dynamicznej teorii gazów Maxwella. Rozdział ten Natanson rozpoczął od jasnego wyłożenia swego filozoficznego stanowiska w kwestii zasadniczej hipotezy „teorii cynetycznej materii”:

„Droga, którą cząsteczka powietrza lub pary zatacza, jest równie określona, jak orbita planety; i niema innej pomiędzy nimi różnicy nad tę, jaka z zupełności naszej wiedzy wynika.«. W tych słowach Laplace’a wypowiedziane jest zasadnicze założenie *Teorii Cynetycznej materii*, nauki, której poświęcamy rozdział niniejszy. Przypuszczamy w niej, że ciała, podpadające pod zmysły, składają się z atomów i cząsteczek, które, podobnie jak te ciała, mają pewne masy, poruszają się z pewnymi prędkościami, wywierają pewne siły i ulegają wpływowi pewnych sił; że przebieg tych ruchów i działania tych sił stosują się do praw zwykłej Dynamiki. **Nie roztrząsajmy napróżno pytania, o ile prawdopodobne są te założenia. Odpowiemy na nie naukowo, jeśli zbadamy matematycznie, czy Teoria materii, na takich podstawach oparta, jest zdolna sprowadzić do zjawisk dynamicznych różnorodne przemiany, którym materia ulega i wytłumaczyć na zasadzie praw czystej Dynamiki różnorodne własności, które materia okazuje** [podkreślenie M.K].”<sup>25</sup>

Wzorem Maxwella, Natanson chce wyprowadzić najogólniejsze, zasadnicze równanie "teorii cynetycznej". Wiedzie do niego następująca droga. Niech pewna

własność molekuly  $Q$  zależy od prędkości jej ruchu. O prędkości tej zakłada się, że można ją podzielić na składową makroskopową – zwaną prędkością molarną i składową mikroskopową – zwaną prędkością molekularną. Celem będzie wyznaczenie sumarycznej zmiany tej wielkości (bądź jej wartości średniej) przypadającej na jednostkę czasu w niezmiernie małej objętości  $dx dy dz$ . Zmiana taka powstaje na skutek trojakiemu rodzaju czynników: (1) wewnętrznych oddziaływań międzymolekularnych – czynnik ten określa się mianem indukcji wewnętrznej; (2) oddziaływań zewnętrznych – czynnik ten określa się mianem indukcji zewnętrznej; oraz (3) na skutek zmiany ilości molekuł zawartych w elemencie objętości  $dx dy dz$ , co wywołane jest wnikaniem do lub opuszczaniem rozważanego obszaru objętości – czynnik ten określa się mianem konwekcji. Konwekcję i indukcję zewnętrzną można łatwo obliczyć. Pierwszą – z rozważań kinetycznych, a drugą – z dynamiki Newtona. Nie da się natomiast wyznaczyć indukcji wewnętrznej bez znajomości prawa działania cząsteczek. Tym niemniej, w wielu sytuacjach nie gra ona roli, gdyż np. nie może ona zmienić masy cząsteczki. Rozważania tego rodzaju prowadzą do następującego równania, zwanego zasadniczym równaniem teorii cynetycznej.

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{\delta Q_n}{\delta t} + \frac{\Delta Q_n}{\Delta t} - \frac{\partial}{\partial x} (\xi Q_n) - \frac{\partial}{\partial y} (\eta Q_n) - \frac{\partial}{\partial z} (\zeta Q_n) - \theta Q_n,$$

gdzie –  $Q_n$  – sumaryczna wielkość własności  $Q$ ,

( $\xi, \eta, \zeta$ ) – składowe prędkości molekularnych,

( $u, v, w$ ) – składowe prędkości molarnych,

( $X, Y, Z$ ) – składowe przyspieszenia wytwarzane przez siły zewnętrzne w punkcie ( $x, y, z$ ),

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\frac{\Delta}{\Delta t} = X \frac{\partial}{\partial u} + Y \frac{\partial}{\partial v} + Z \frac{\partial}{\partial w}$$

Posługując się takim oto równaniem, teoria kinetyczna materii potrafiła opisać i wytłumaczyć wiele zjawisk. Tytułem przykładu, za Maxwellem, Natanson pokazuje, iż z teorii kinetycznej wynikają równania hydrodynamiki, ale w odróżnieniu od swego największego nauczyciela, Natanson dołącza do tego wyniku ważki komentarz metodologiczny. Oto on:

„równania Teorii Cynetycznej przechodzą w równania Hydrodynamiki, gdy znikają w nich wyrazy, odpowiadające ruchowi molekularnemu. Zgodność taką musimy uważać za ważne potwierdzenie założeń naszej Teorii, skoro równania Hydrodynamiki zostały wielokrotnie sprawdzone przez doświadczenie. Rozumiemy nadto wobec tego, skąd wynika różnica w sposobie



pojmowania zjawisk w Hydrodynamice a w Teorii Cynetycznej. W tej ostatniej obieramy za punkt wyjścia przypuszczenie o ruchu pojedynczych cząsteczek. Z tego przypuszczenia wyprowadzamy pojęcia: o ruchu molar- nym gazu, o ciśnieniach w gazie it.d.; pojęcia te przeto występują, jako *złożone*, jako zależne od innych, prostszych i pozostają dla nas, z tego względu, czystymi abstrakcjami. W Hydrodynamice zaś, w której badamy zjawiska, od ruchu molekularnego mało, lub wcale nie zależne, *pomijamy już w założeniach* ruch molekularny; wprowadzamy więc pojęcia: o ruchu elementów, o ciśnieniach it.d., jako pojęcia *zasadnicze*. Przyzwyczajwszy się do myśli, że nie ma potrzeby sprowadzenia tych pojęć do jakich bądź prostszych, uznajemy je w końcu za bezpośredni wyraz faktów rzeczywistych.”<sup>26</sup>.

A owo wynikanie nie jest bynajmniej błahe. Natanson bowiem, za Maxwellem, w roku 1890 całkowicie świadomie wypowiada zasadę określaną współcześnie mianem zasady korespondencji typu Bohra<sup>27</sup>.

Choć teoria kinetyczna materii potrafiła opisać i wytłumaczyć wiele zjawisk, tym niemniej podstawowym jej problemem jest ciągle nieznanomość prawa wzajemnego działania atomów:

„Gdy spostrzegamy, jak doniosłą rolę odegrałaby zatem w nauce szczęśliwa hipoteza o prawie wzajemnego działania cząsteczek i atomów, zapytujemy mimo woli: czy posiadziemy kiedykolwiek taką hipotezę? czy zdołamy streścić wszystko, co wiemy o własnościach materii, w jednym, zasadniczym przypuszczeniu? Być może, iż zanim pierwsze trudności zwalczymy, które od celu tego nas dzielą, wiecznie młoda, wiecznie zmienna myśl ludzka już pod nową, odmienną postacią stawiać sobie będzie zagadkę materii.”<sup>28</sup>.

Dalsze badania Natansona zmierzają w dwóch kierunkach. Po pierwsze, rozwija on klasyczną termodynamikę równowagową, a po drugie, używając kinetycznej teorii materii (czyli kinetycznej części dynamicznej teorii gazów Maxwella (1867)) poszukuje ilościowej miary rozpraszania dysypacji energii.

Realizując pierwszy kierunek badań, Natanson, uogólniając osiągnięcia Massieu, Gibbsa, Helmholtza, Duhema i Plancka, w 1891r. przekazuje do druku artykuł pt. *O termodynamicznych potencjałach*<sup>29</sup>.

Realizując drugi nurt, w 1893 roku Natanson, w analogii do hydrodynamicznej funkcji dysypacji Rayleigha, znajduje przy pomocy kinetycznej teorii materii funkcję rozpraszania energii molarnej na energię molekularną (i *vice versa*) i określa ją mianem funkcji dysypacji. Temu właśnie tematowi Natanson poświęca artykuł pt. *O znaczeniu kinetycznym funkcji dysypacyjnej*<sup>30</sup> przekazany do druku 4 XII 1893 roku. W artykule tym Natanson dowodzi m.in., że zmiana energii molarnej systemu na energię molekularną systemu i *vice versa*, wyraża się następującym wzorem:



$$\frac{\partial E}{\partial t} = - \frac{\partial K}{\partial t} = \iiint (F - p\theta) dx dy dz$$

gdzie:  $p$  – ciśnienie – funkcja prędkości molekularnych;  $q$  – suma składowych gradientu prędkości molekularnej czyli dywergencja prędkości molekularnej;  $F$  – funkcja dysypacji będąca pochodną czasowych kwadratów funkcji ciśnień normalnych i stycznych (będących z kolei pewnymi funkcjami prędkości molekularnych i ich gradientów).

Używając dodatkowo maxwelowskiego prawa działania molekuł (tj. zakładając, iż siła takiego oddziaływania jest odwrotnie proporcjonalna do piątej potęgi odległości, co, *nota bene*, efektywnie pokrywa się w rozważanym problemie z teorią tarcia wewnętrznego Poissona i Stokes'a), Natanson dowodzi następnie, że funkcja  $F$  jest zawsze dodatnio określona, niezależnie od wartości ciśnień normalnych i ciśnień stycznych i związanych z tym pewnych wielkości  $a, b, c, A, B, C$ .

„Pod tą postacią wprowadził funkcję  $F$  do Hydrodynamiki Lord Rayleigh; uczony ten nadał jej przy tym nazwę Funkcji dysypacyjnej. Istotnie, widzieliśmy, że zamiana energii molarnej na molekularną składa się z dwóch części. Pierwsza w jednostce objętości i czasu wynosi  $-p\theta$ ; ta część zatem jest *odwracalna*, ponieważ zmienia swój znak, gdy zmieniają go  $a, b, c, A, B, C$ . Druga, która w jednostce objętości i czasu wynosi  $F$ , jest *nieodwracalna*, ponieważ nie zmienia znaku, gdy zmieniają go  $a, b, c, A, B, C$ , i pozostaje, jak dowiedliśmy, stale dodatnią. Ta zatem część druga jest nieodwracalną zmianą energii molarnej, czyli mechanicznej, na molekularną, czyli cieplną; innymi słowy jest przykładem *rozpraszania się energii*. A zatem w czysto dynamicznym układzie może spełniać się w zupełności zjawisko rozpraszania się energii, które jak dostrzegli *Carnot, Clausius* i *Thomson (Lord Kelvin)*, i jak uczy termodynamika, jest skutkiem każdej zmiany w świecie fizycznym.”<sup>31</sup>.

Rezultaty tych badań Natanson rozwija w kolejnym artykule *O kinetycznej energii ruchu ciepła i odpowiadającej jej funkcji dysypacji* (3 XII 1894)<sup>32</sup>. We wstępie do tej pracy wyjaśnia raz jeszcze, jaki związek łączy stosowaną przez niego teorię kinetyczną i hydrodynamikę:

„Kinetyczna teoria jest ogólniejsza od dynamicznej, stosuje się ona do wszystkich w ogóle  *płynów*, gdy dynamiczna (dotychczas) tylko gazów dotyczy. Teorię kinetyczną uważalibyśmy chętnie jak gdyby za pewne boczne rozgałęzienie hydrodynamiki, która może prowadzić do uzasadnienia a niekiedy rozszerzenia podstaw tej nauki. Wiadomo istotnie, jak teoria kinetyczna prowadzi do równań hydrodynamiki  *płynu doskonałego*; wiadomo (porównaj cytowaną pracę *O znaczeniu kinetycznej funkcji dysypacji*) ile z niej można wyczytać w zagadnieniu o tarcu wewnętrznym. W pracy niniejszej będziemy się starali pójść o krok dalej w dokładności analizy, tak, ażeby zjawisko przewodnictwa ciepłego nią objęte zostało.”<sup>33</sup>.

Po wprowadzeniu (przy pomocy kinetycznej teorii materii) funkcji dysypacji przewodnictwa cieplnego, Natanson czyni kilka uwag na temat maxwelowskiej hipotezy czy prawa działania molekuł (resp. cząsteczek):

„Pozwólmy sobie wyrazić domniemanie, że przyszły rozwój teorii oprze się nie na hipotezie Maxwella, ani na żadnej innej specjalnej hipotezie, lecz na założeniu ogólniejszym i bliższym faktów. Bez względu na to, jak działają na siebie cząsteczki, bez względu na to zaiste, czy w ogóle cząsteczki istnieją, możemy twierdzić, że istnieje *ogólne prawo uspakajania się zakłóceń w tonie płynów, a może nawet i w ogóle materii*. Prawo to moglibyśmy nazwać ogólnym prawem zwalniania (Maxwella relaxation).

Oznaczmy przez  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  pewne stałe, odwrotności pewnych okresów czasu stałych; możemy napisać:

$$\delta q_x / \delta t = - \alpha q_x, \quad \delta s_x / \delta t = - \gamma s_x, \quad \delta r_x / \delta t = - \beta r_x;$$

Sam kształt tych równań nasuwa domniemanie, że stanowią one przykłady szczególne (i niewątpliwie tylko przybliżenie dokładne) pewnego ogólnego prawa. Gdyby to prawo zostało znalezione, doprowadziłoby ono, być może, do poznania dynamicznej postaci zasady rozpraszania energii, w takim zaś razie nadałoby nauce termodynamiki impuls, którego owoce trudno przewidzieć.”<sup>34</sup>

Tak więc Natanson nie miał żadnych wątpliwości, że standardowe prawo zluźniania (relaksacji) Maxwella jest jedynie pierwszym przybliżeniem ogólnego prawa relaksacji, a odkrycie tego ogólnego prawa byłoby niezwykle ważnym osiągnięciem dla całej nauki.

W artykule tym Natanson podkreśla też opozycję zjawisk odwracalnych i nieodwracalnych, którą wyraża przy pomocy idei dwóch przeciwstawnych sobie czynników: inercji materii i koercji materii – ten drugi termin, podkreślmy, jest tu wprowadzony przez Natansona po raz pierwszy:

„Jasną jest rzecz, że samoistne zanikanie wewnętrznych zakłóceń jest właściwe tylko materii; w czystym eterze nie dzieje się nic podobnego. Jasną rzeczą jest dalej, że właściwości tłumienia wewnętrznych zakłóceń jaką posiada materia, jest antytezą najzupełniejszą (jaką można pomyśleć) innej ogólnej własności, którą przypisujemy materii, mianowicie bezwładności materii. Ażeby to przeciwieństwo wyrazić, możnaby ową własność tłumienia wewnętrznych zakłóceń, jaką okazuje materia, nazwać *koercja* i przeciwstawić *inercji* (bezwładności) materii, którą poznajemy w zjawiskach ruchu.”<sup>35</sup>

W 1895 roku Natanson publikuje też trzy artykuły na temat krytycznej temperatury wodoru i adiabatycznego rozprężania w pobliżu stanu krytycznego.

## LATA 1895–1902

W czwartym okresie Natanson publikuje 10 artykułów na interesujący nas temat, koncentrując się na znalezieniu ogólnych ilościowych praw inercji i zaniku zaburzeń.

Fundamentalną ideę tych badań Natanson przedstawia 3 marca 1895 roku w artykule *Materia i energia*<sup>36</sup>.

Z kolei, rok później, 2 marca 1896 roku Natanson składa do druku jeden z najważniejszych artykułów w swojej karierze naukowej pt. *O prawach zjawisk nieodwracalnych*<sup>37</sup>. Zacytujmy tu wstęp do tej pracy:

„Nauka o rozpraszaniu się energii jest dotychczas mało rozwinięta. Znamy wprawdzie prawa zjawisk odwracalnych, ale w tych zjawiskach energia nie jest rozpraszana; o zjawiskach zaś nieodwracalnych mamy tylko jakościową wiadomość, że energia jest w nich rozpraszana. Nie znamy bynajmniej dotychczas ilościowych praw rozpraszania się energii w zjawiskach nieodwracalnych.

Wydaje się przecież, iż istnieje pewna ogólna, nad nieodwracalnymi zjawiskami panująca zasada. Wynika ona łatwo z uogólnienia zasady Hamiltona. Lord Rayleigh, G. Kirchhoff, von Helmholtz, P. Duhem wygłosili ją w rozmaitych kształtach i w rozmaitym stopniu ogólności<sup>38</sup>. Twierdzeniem, odkrytym przez tych uczonych, można nadać postać prostego prawa, które sprowadza się powszechnie w zjawiskach fizycznych. Pragnęlibyśmy, ażeby zwrócono uwagę na obszerność i wagę tej zasadniczej formuły; ponadto sądzimy, że wskazuje ona drogę do znalezienia praw ilościowych rozpraszania się energii.”<sup>39</sup>.

Według Natansona, ogół zjawisk odwracalnych i nieodwracalnych może być ujęty przy pomocy zasady, którą określa mianem zasady termokinetycznej. Przyjmuje ona następującą formę.

$$\int_{t_0}^{t_1} dt \{ \delta T - \delta U + \sum P \delta q + \delta Q \} = 0, \text{ gdzie}$$

t – czas;

T – energia kinetyczna układu będąca funkcją zmiennych niezależnych  $q_i$  i ich pierwszych pochodnych względem czasu  $s_i$ , jednorodna stopnia drugiego względem  $s_i$ ;

U – energia potencjalna układu będąca funkcją jedynie zmiennych  $q_i$ ;

P – uogólniona albo lagranżowska „siła” zewnętrzna w „kierunku” zmiennej  $q_i$ ;

Q – ilość ciepła zaabsorbowanego przez system z zewnątrz, a  $\delta Q$  jest sumą skompensowanego i nieskompensowanego ciepła Clausiusa;

W tym samym artykule Natanson dowodzi następnie ogólności zasady termokinetycznej, dedukując z niej zasadę zachowania energii, zasadę termokinetyczną

dla energii swobodnej, równania Lagrange'a, odwracalną dynamikę i odwracalną termodynamikę, przypadek nieodwracalnej dynamiki Rayleigha, hydrodynamikę nieodwracalną, teorię dyfuzji, prawo przewodnictwa ciepła w przybliżeniu Fouriera oraz prawo dysypacji energii elektromagnetycznej.

Stosując tę zasadę, Natanson wyznaczał we wszystkich tych przypadkach człon rzeczywisty i wariacyjny ciepła nieskompensowanego systemu  $d'Q$  i  $\delta'Q$ . W takim kontekście Natanson stawia następujące pytanie:

„Samo przez się nasuwa się teraz pytanie: czy nieskończenie małe wyrazy  $d'Q$  i  $\delta'Q$ , które znaleźliśmy w różnych szczególnych przypadkach, nie są poddane pewnym prawom wspólnym? Wydaje nam się, że istnienie takich praw jest bardzo prawdopodobne. Przypuszczenie jednak, które poniżej podamy, nie ma być niczym innym, niż pierwszym, tymczasowym i przybliżonym domniemaniem.

W każdym przypadku szczególnym utwórzmy wyraz:

$$\frac{d'Q}{dt} = -2F. \quad (IV)$$

Wielkość ta  $F$  będzie, w przypadku dynamiki nieodwracalnej [...] Lorda Rayleigh „funkcją dysypacyjną”; proponujemy przeto nazywać w ogóle „funkcją dysypacyjną” funkcję  $F$ , określoną przez (IV), w każdym przypadku, do którego rozciąga się ważność tego równania.”<sup>40</sup>

Następnie, używając maxwelowskiej teorii kinetycznej, Natanson przystępuje do wyznaczenia funkcji dysypacji  $F$ . Funkcja ta składa się z trzech części: (1) wpływu sił długozasięgowych, (2) wpływu sił kontaktowych i (3) wpływu sił wewnętrznej koercji, gdzie przez koercję Natanson rozumie te wszystkie przyczyny wewnętrzne systemu, które są powodem zaniku zaburzeń.

By otrzymać funkcję  $F$  (składającą się z wyżej wymienionych trzech składników), Natanson oblicza jej pierwszą pochodną i zakłada jednocześnie, że trzecia jej kolejna składowa – określona mianem współczynnika koercji i oznaczana jako  $DF/Dt$  – jest proporcjonalna do chwilowej wartości funkcji  $F$  i spełnia następujące równanie różniczkowe:

$$DF/Dt = -2F/\tau, \quad (V)$$

gdzie  $\tau$  – maxwelowski „czas zluźniania” (relaxation time), określane we współczesnej polszczyźnie przez dosłowne tłumaczenie – mianem czasu relaksacji.

Natanson przypuszcza w tym miejscu, że „przynajmniej w sąsiedztwie stanu równowagi równanie to jest spełnione w wysokim stopniu przybliżenia.”<sup>41</sup>

Następnie Natanson weryfikuje to przybliżone prawo w powyżej wspomnianych już przypadkach zjawisk nieodwracalnych, wyznaczając odpowiadające im funkcje dysypacji.

W kolejnych czterech artykułach Natanson rozwija swoje ujęcie i przy pomocy teorii kinetycznej bada następujące zagadnienia: termokinetyczne własności potencjałów termodynamicznych (5 VII 1897), ruch wirowy (5 IV 1897), wpływ ruchu na zmiany stanu skupienia (8 III i 25 III 1898) i termokinetyczne własności roztworów (4 VII 1898 i 10 VII 1899)<sup>42</sup>. W drugim z tych artykułów, Natanson przedstawia teorię zjawisk termokinetycznych, jakie mogą się odbywać w układzie złożonym z dwóch ciał jednorodnych i wzajemnie zamieniających się, czyli – we współczesnej terminologii – przejść fazowych.

W 1900 roku ukazuje się esej pt. *Pogląd na rodzaje zjawisk w materialnym wszechświecie*<sup>43</sup>, w którym opisana jest geneza idei natansonowskiej termokinetyki. Poświęćmy mu zatem więcej uwagi.

Według Natansona, zasada zachowania energii była niewystarczająca by móc przy jej pomocy przewidywać ogół zjawisk przyrody. Nie wyróżnia ona bowiem kierunku możliwych przemian energetycznych.

„Wyobraźmy sobie świat, nad którym, *jedynie tylko* zasada zachowania energii rozciągałaby władzę. W świecie podobnym możliwe byłyby wydarzenia zgoła urojone, które piętnuje i odpycha najbardziej pospolite doświadczenie. Woda, wystawiona na działanie płomienia, mogłaby w tym świecie zamarznąć na lód, byleby jednocześnie gazy płomienne rozgrzewały się jeszcze silniej. Kamień, swobodnie puszczone, mógłby tańczyć w powietrzu i dowolnie w niem kręgi zataczać, byleby prędkość, którą każdej chwili osiąga, była ściśle ta, jaka z zasady zachowania wynika.”<sup>44</sup>.

Zatem, choć zasada zachowania energii jest prawdą, nie jest bynajmniej całą prawdą. By móc adekwatnie opisywać przebieg zjawisk, można obrać dwie drogi. Pierwsza polegałaby na poszukiwaniu kolejnych dopełniających zasad. Taką właśnie zasadą jest tzw. druga zasada sformułowana przez Carnota, Clausiusa i Kelwina. Ale istnieje też inna droga:

„Jednakże, nauczysz się władać ową »drugą zasadą«, czyli myśleć według niej, próbujmy jej treść przejrzeć na wskroś, próbujmy jej myśl wyrozumieć do dna; nie potrafimy oprzeć się wówczas niejasnemu poczuciu, że poza tą prawdą, przecież już tak bardzo wyniosłą, stoi niedaleko, o jeden zdawałoby się krok, myśl jakaś jeszcze szersza, prawda jeszcze bardziej bogata i dreszcz entuzjazmu chwyta nas w nadziei, że jasność tę ujrzymy wprost, w jej całym blasku”<sup>45</sup>.

Można bowiem postępować analogicznie, jak czynił to Newton w dynamice, a jego śladem D’Alambert, Lagrange, Hamilton, Maxwell, Helmholtz i Hertz, i zamiast zasad poszukiwać ogólnych równań energetycznej zmienności. Łatwiej jest bowiem zamiast rozwiązywać jakies problemy w kolejnych stadiach, „jednym

skokiem myśli je rozwiązać, podobnie jak łatwiej jest zrozumieć ideę posągu całkowitego, niż pociętego na części.”<sup>46</sup>.

„A jeśli tak rozumiane równania zmienności mają w różnorodnych przypadkach postać zbyt niejednostajną, – kontynuuje Natanson – poszukujmy więc ogólnej *metody tworzenia ich* w każdym przypadku; poszukujmy pierwotnej, macierzystej formuły, z której możnaby wywieść je zawsze. Jeśli ją posiadziemy, będziemy upewnieni, że równania zmienności, pomimo kształtów najbardziej rozmaitych, głoszą *jedną* prawdę, wypowiadają toż samo, tylko w różnych językach. Taka jest droga, która, w naszym przekonaniu, jest płodna, jest obiecująca w stadium dzisiejszym rozwoju Fizyki Ogólnej. Taka też jest idea przewodnia tak zwanej w Nauce *termodynamicznej zasady*.”<sup>47</sup>

Zasada ta chce matematycznie ująć obserwowalny fakt istnienia nie tylko odwracalnych, ale i zdecydowanie liczniejszych nieodwracalnych aspektów zjawisk.

„Mówimy np., że ruch »sam przez się« jest odwracalnym zjawiskiem. Ale w przyrodzie nie ma ruchu bez lepkości, bez tarcia, bez oporu i przeszkód; każdy ruch je spotyka i musi z nimi się zmagać”<sup>48</sup>.

Weźmy przykładowo ruch wahadła. Choć jego energia kinetyczna i potencjalna zamieniają się nawzajem odwracalnie, energia kinetyczna w wyniku istnienia oporów przeradza się nieodwracalnie w ciepło. Z tego właśnie powodu »ruch czysty« jako przedmiot badań dynamiki jest niczym innym niż tylko fikcją, odwracalną stroną zjawisk. Podobnie jest też w przypadku np. topienia lodu:

„Prawda, że kiedy lód topi się, dając wodę ciekłą, przemiana jest doskonale odwracalna; ale lodu stopić inaczej nie można, jak tylko udzielając mu ciepła, np. przez zetknięcie z ciałem choćby nieco cieplejszem; udzielanie zaś ciepła w ten sposób, przez przewodnictwo, jest nieodwracalne: przewodzenie ciepła w ogóle jest widocznie podzjawiskiem nieodwracalnym. A więc tak zwane odwracalne topienie się lodu, przykład klasyczny w rozumowaniach Termodynamiki, jest *fikcją*, jest tylko odwracalną stroną pewnych zjawisk w Naturze”<sup>49</sup>.

A zatem odwracalne zjawiska to teoretyczne fikcje, w istocie bowiem, w zjawiskach ciągle współzawodniczą aspekt odwracalny i aspekt nieodwracalny.

„Wiemy już, że podzjawiska czysto odwracalne (jak je nazywamy) są to tylko mary i cienie wydarzeń; są to tylko abstrakcje, które wydzielamy z rzeczywistości rzutem wyobraźni. W istocie odbywają się one zawsze wspólnie z nieodwracalnymi.”<sup>50</sup>.

Co więcej, te nieodwracalne podzjawiska dominują w całym zjawisku i niszczą prędzej czy później nie tylko odwracalne podzjawisko, ale także same kierują się ku uciszeniu, uspokojeniu, stagnacji i śmierci.

Konkluzja jest taka oto. Z termokinetycznego punktu widzenia, każde fizyczne zjawisko jest nierozdzielnie złożone z odwracalnego i nieodwracalnego podzjawiska, a ich rozdzielanie na odrębne aspekty, jest tylko idealizacją. Odwracalna dynamika i odwracalna termodynamika są zatem jedynie fikcjami, ale fikcjami bardzo użytecznymi. Natansonowska termokinetyka próbuje uniknąć tej fikcji, ale zadanie to nie jest wcale łatwe. Natanson pod koniec rozważanego eseju wydaje się po raz pierwszy dotrzącać wyraźną dysproporcję między jego ogólną zasadą termokinetyczną, a, z jednej strony, jego jedynie przybliżoną miarą dysypacji energii, i, z drugiej, między modelem zjawisk ukazywanym przez jego teorię a rzeczywistymi nieodwracalnymi zjawiskami. Stwierdza bowiem, co następuje:

„Mało wiemy, nic prawie. Zaledwie rozpoczęliśmy pochód na drodze do poznania praw zjawisk. **Zdawałoby się, że każdy krok po tej drodze wyczerpuje siły pokolenia, które go uczyniło. Po każdym takim kroku ludzkość musi przystawać i oswajać się z nowym widokiem** [podkreślenie – M.K.]. Ale pochód trwa i Nauka wzrasta.”<sup>51</sup>

Ale Natanson pomimo to nie przerywa swych prac i artykułem pt. *O prawach tarcia wewnętrzznego*<sup>52</sup>, przekazanym do druku 4 II 1901r., otwiera całą serię prac na ten temat. Stąd też w pracy tej znajdujemy następujące słowa:

„Badanie, któremu poświęcamy niniejszą i następne rozprawy, rozpoczęliśmy w nadziei, że będzie zdolne dać o prawach i właściwościach koercji niektóre wskazówki”<sup>53</sup>.

Podstawą tych poszukiwań jest kinetyczna teoria materii. Posługując się tą właśnie teorią oraz hipotezą Maxwella "zwalniania" (relaksacji) zaburzeń, Natanson uzyskał uogólnienie wyprowadzonego w kontekście hydrodynamiki klasycznego prawa tarcia Naviera-Stokesa. Czyniąc to, po raz kolejny posługiwał się postulatem korespondencji nowej i starej (uznanej) teorii, a realizując ten postulat sformułował zasadę korespondencji tych teorii.

W kolejnym artykule pt. *O prawach dyfuzji zjawisk*<sup>54</sup>, przekazanym do druku 14 X 1901 r., wykorzystując ciągle kinetyczną teorię materii, Natanson analizuje zagadnienie dyfuzji w szerokim tego słowa znaczeniu nadanym przez Maxwella, zjawisko nieuchronnego mieszania się materii w gazach i roztworach czyli dyfuzji materii, przewodnictwa ciepła czyli dyfuzji energii, tarcia wewnętrzznego czyli dyfuzji ilości ruchu (pędu). Ujęte z tej perspektywy zjawiska dyfuzyjne podlegają ogólnemu schematowi. Istota rzeczy we wszystkich tych zagadnieniach leży w ustanowieniu związku między jednostkowym przepływem rozważanej ilości (masy, ilości ruchu, energii), a odpowiednią wielkością wektorową, którą Natanson nazywa bodźcem zjawiska. Ilość wielkości  $Q$ , jej przepływy  $f_x, f_y, f_z$  i bodźce  $F_x, F_y, F_z$  spełniają następujące równania-prawa.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial f_x}{\partial x} + \frac{\partial f_y}{\partial y} + \frac{\partial f_z}{\partial z} = 0 \quad (R1)$$

$$\frac{\partial f_x}{\partial t} + \frac{f_x}{T} + F_x = 0, \text{ itd.}, \quad (\text{R2})$$

gdzie  $T$  – czas relaksacji.

W konsekwencji spełnione jest następujące cząstkowe równanie hiperboliczne:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + \frac{1}{T} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\partial F_x}{\partial x} - \frac{\partial F_y}{\partial y} - \frac{\partial F_z}{\partial z} = 0 \quad (\text{R3})$$

Teorie fourierowskie, takie jak Newtona prawo tarcia wewnętrzznego, Fouriera prawo przepływu ciepła, Ficka prawo dyfuzji, spełniają jednak nieco odmienny układ równań:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial f_x}{\partial x} + \frac{\partial f_y}{\partial y} + \frac{\partial f_z}{\partial z} = 0 \quad (\text{R1})$$

$$F_x = a^2 \frac{\partial Q}{\partial x}, \text{ itd.} \quad (\text{R2}')$$

(Ta postać równania wynika z założenia, że przepływ jest proporcjonalny do bodźca, będącego przestrzennym gradientem prędkości, temperatury oraz gęstości, odpowiednio, w przypadku Newtona prawa tarcia wewnętrzznego, Fouriera prawa przepływu ciepła oraz Ficka prawa dyfuzji.) W konsekwencji, wielkość  $Q$  spełnia następujące paraboliczne cząstkowe równanie różniczkowe:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - a^2 T \nabla^2 Q = 0. \quad (\text{R3}')$$

W świetle równań (R1–R3), Natanson doskonale rozumie ograniczenia dotychczasowych teorii fourierowskich, gdyż potrafi on uzyskać równania rządzące tymi teoriami z jego ogólniejszych równań, zakładając, (co może niewątpliwie zdumieć logików i matematyków), że  $T = 0$  i jednocześnie  $a^2 T = \text{const}$ . Innymi słowy, w teoriach fourierowskich zaniedbuje się  $\partial f_x / \partial t$  wobec  $f_x / T$ . Takie zjawiska Natanson nazywa doskonale, całkowicie rozpraszającymi energię, bowiem wówczas

$$f_x = - \lim_{T \rightarrow 0} (T F_x), \text{ itd.}$$

a to oznacza, że energia bodźca rozprasza się wyłącznie na wytworzenie przepływu.

Jezeli jednak  $T = \infty$ , wówczas obowiązują następujące równania:

$$\frac{\partial f_x}{\partial t} = - \lim_{T \rightarrow \infty} (F_x), \quad \text{itd.}$$



Zatem, w tego typu zjawiskach energia nie rozprasza się w ogóle i gromadzi się tworząc impet płynącej ilości  $Q$ . Spełnione też jest wówczas następujące równanie falowe:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} - \frac{\partial F_x}{\partial x} - \frac{\partial F_y}{\partial y} - \frac{\partial F_z}{\partial z} = 0$$

W ogólnym jednak przypadku, gdy  $T \neq 0$  i  $T \neq \infty$  dwa pierwsze ze składników równania (R2) są jednakowego rzędu. Wówczas zjawisko dyfuzji przestaje mieć czysty charakter „wcale nie” lub „całkowicie” rozpraszającego. Jest czymś pośrednim, ma charakter mieszany. W przypadku teorii fourierowskich dyfuzji przepływ był wprost proporcjonalny do bodźca. W ogólnym przypadku obowiązuje jednak bardziej zawiłe prawo wyrażone poniższymi formułami:

$$f_x = C_x \exp(-t/T) - \exp(-t/T) \int dt \exp(t/T) F_x \text{ itd,}$$

albo również:

$$f_x = C_x \exp(-t/T) - T(F_x - T \frac{\partial F_x}{\partial t} + \frac{\partial^2 F_x}{\partial t^2} + \dots) \text{ itd.}$$

Z tego powodu przepływ zależy nie tylko od bodźca, lecz i od sposobu jego zmniejszania się.

„Według uogólnionej teorii, czynność bodźca nie polega więc na samym tylko wytwarzaniu przepływu, lecz nadto i na zmienianiu z biegiem czasu jego natężenia; dlatego według takiej teorii, energia użyteczna bodźca rozprasza się tylko po części, po części zaś nagromadza się, nadając „impet” przepływającej ilości”<sup>55</sup>.

Te pierwsze działanie bodźca Natanson nazywa koercyjnym, drugie zaś inercyjnym. Pierwsze znacznie przeważa w zwykłych zjawiskach dyfuzyjnych, a stosunkowy wpływ jednego i drugiego działania zależy przede wszystkim od długości czasu relaksacji, który jest miarą szybkości rozchodzenia się zaburzeń. Dlatego też klasyczne teorie zjawisk dyfuzyjnych są tylko w przybliżeniu prawdziwe, gdyż przyjmując  $T=0$ , zakładają jednocześnie, że zaburzenia rozchodzą się z nieskończoną prędkością.

W taki oto sposób, Natanson, postępując się maxwellową kinetyczną teorią materii i postulatem korespondencji dwóch teorii, formułuje nową teorię dyfuzji, która „łączyła się” poprzez zasadę korespondencji typu Bohra z teoriami fourierowskimi i teorią falową ciepła.

Otrzymując te wyniki, Natanson uzyskuje jednocześnie potwierdzenie sensowności podejścia zaprezentowanego wcześniej w artykułach *O znaczeniu kinetycznej funkcji dysypacyjnej* (4 XII 1893), *O kinetycznej energii ruchu ciepła*

*i odpowiadającej jej funkcji dysypacji* (3 XII 1894), *O prawach zjawisk nieodwracalnych* (2 III 1896). Toteż z nadzieją stwierdza:

„Stosunkowe wykończenie gmachu termodynamiki klasycznej zdaje się wskazywać, że nadchodzi chwila, w której budowa ogólnej teorii rozpraszania energii, lub może termokinetyki, stanie na porządku dziennym nauki. W takiej teorii niepodobna będzie poprzestać na jakościowym punkcie widzenia. Należy w niej szukać, jak tutaj staraliśmy się pokazać, ilościowej miary, o ile rozpraszającym lub nierozpraszającym jest każde badane zjawisko”<sup>56</sup>.

Realizując swój program badawczy poświęcony tematowi koercji, w 1902 roku Natanson przekazuje do druku kilka następujących prac: *O rozchodzeniu się małych ruchów w płynach lepkich* (7 I 1902)<sup>57</sup>, *O przewodnictwie cieplnym poruszającego się gazu* (4 III 1902)<sup>58</sup>, *O funkcji dysypacyjnej płynów lepkich* (13 X 1902)<sup>59</sup>, *O odkształceniu krążka plastyczno-lepkiego* (13 X 1902)<sup>60</sup>. Ponadto, na posiedzeniu Akademii Umiejętności w Krakowie, Natanson wygłasza 19 V 1902 r. referat pt. *Inercya i korekcyja*<sup>61</sup>, a 6 XI 1902 r. referat pt. *O teoriach materji*<sup>62</sup>. Są to ważne referaty programowe, będące świadectwem ówczesnego stanu badań Natansona, toteż warto zapoznać się uważniej z ich treścią.

### *Inercya i koercya*

Zdaniem Natansona, w nieożywionej przyrodzie wyróżnić można dwie dziedziny, dwie kategorie zjawisk: trwające – inercyjne oraz kończące się – koercyjne, czyli te, które dążą do stanu niezmienności, równowagi.

Z drugiej strony, obserwując uważnie nieożywioną przyrodę, wydaje się, że ogół jej zjawisk łączy się, splata nierozzerwalnie, tworząc jednię zjawisk. Bo przecież, np., układ słoneczny to jedno wielkie, łączne zjawisko, i tylko przez proces myślowy wydzielamy z tej całości zjawisko ruchu przestrzennego i to jeszcze w dodatku jego odrębnych części.

Tym niemniej, pomijając tego rodzaju związki, udało się zbudować takie teorie, jak dynamika newtonowska, optyka czy elektrostatyka. Nauki te odniosły zadziwiające sukcesy w opisie przyrody nieożywionej. Jednak są one idelizacjami, a w konsekwencji zjawiska, które są ujmowane w kontekście tych teorii, są jedynie konwencjami:

„Mówimy na przykład, że dostrzegamy, w nieożywionej Naturze, zjawiska ruchu, zjawiska cieplne, chemiczne, elektromagnetyczne. ale pamiętajmy, że to wszystko mówimy w umówionym, konwencjonalnym języku. Wszystkie te rodzaje zjawisk my tylko, my sami upatrujemy w w Naturze. Wszystko to są abstrakcje; to nie są zjawiska. Nie są to nawet części zjawisk; są to *przecięcia* przez zjawiska. Na swoich planach ukazuje nam budowniczcy raz poziome, to znów pionowe przecięcia budynku; podobnie Nauka

Fizyki, w rozlicznych swoich teoriach, daje nam przekroje przez wszechświat, znalezione ze szczególnych punktów widzenia”<sup>63</sup>.

Ale, choć idealizacje w istotny sposób niszczą jednię, spójnię zjawisk, nie ma innej drogi dla budowania początków każdej nauki.

„Każda nauka powstała dzięki możliwości wyodrębnienia, w odmęcie natury, pewnego szczególnego i stosunkowo prostego zadania. Takie wyodrębnienie jest konieczne w chwili utworzenia się nowej nauki; jest pożyteczne, dopóki nauka wzrasta i wznaga się bezpiecznie w potęgę; ale przecież, wobec spójni i jedności Natury, jest tylko sztucznym wybiegiem, sprzecznym z jej ukrytą harmonią”<sup>64</sup>.

Owe ograniczenie wychodzą na jaw w trakcie rozwoju nauki. W przypadku newtonowskiej dynamiki okazało się, że nie sprostała ona np. opisowi ruchu adiabaticznego fali powietrza. A problem ten rozwiązał dopiero Laplace, formułując dynamikę adiabaticzną. Podobnie też dynamika nie sprostała opisowi zjawisk termodynamicznych, takich, jak przepływ ciepła czy reakcje chemiczne. Te zostały po raz pierwszy adekwatnie ujęte matematycznie dzięki teorii ciepła Fouriera i, odpowiednio, termodynamicie.

Termodynamika chciała ujmować ogół zjawisk przyrody jako łączących się w jeden nierozzerwalny splot. By zrealizować to, termodynamika oparta została o dwie zasady: zasadę zachowania energii (tę zawierała dynamika Newtona, ale nie była na niej oparta) i tzw. drugą zasadę termodynamiki.

„Termodynamika jest próbą wydobycia się ze stanowisk ciasnych i szczegółowych. Termodynamika nie dzieli zagadnień, które roztrząsa, na części, lecz usiłuje roztrząsać je w całości. Przekonywamy się w termodynamice przede wszystkim, że zwykła Dynamika jest tylko jednym szczególnym przypadkiem, tylko pewnym przykładem; że obok niej może istnieć wiele, nieskończenie wiele Dynamik. [...] Są jednak i takie przypadki, w których żadna Dynamika nie jest możliwa; są to te, w których zjawiska trwające czyli bezwładne i zjawiska, dążące do kresu czyli zanikające, są tak ze sobą splątane, że nie możemy oderwać jednych od drugich bez zadania im gwałtu, bez przecięcia nici istotnej łączności. Tak zatem określimy Termodynamikę. Jest to teoria, która nie dzieli zjawiska na bezwładne i zanikające, ale bada je i chce opanować w całości”<sup>65</sup>.

Taki jest właśnie, zdaniem Natansona, programat (tj. program) termodynamiki. Tyle tylko, że według Natansona, zaakceptowana przez ogół badaczy termodynamika była jedynie teorią równowagi chemicznej – a ten właśnie fakt przyniósł chemii początki porządku i nadał jej status dyscypliny naukowej. Mówiąc w wielkim skrócie: termodynamika w wyniku stopniowego rozwoju upodobniała się coraz bardziej do statyki. W tej ostatniej bowiem, całą jej treść można wyrazić przy pomocy funkcji stanu układu tzn. potencjału (statycznego). To samo można też uczynić w teorii równowag wprowadzając potencjał termodynamiczny, który

jest prostym uogólnieniem potencjału statycznego poprzez dodanie członu uwzględniającego cieplny stan równowagi.

„A zatem – powiada Natanson – mamy tutaj coś więcej, niż analogię formalną; mamy łączność dwóch Nauk, objęcie całej treści jednej nauki przez drugą”<sup>66</sup>.

Spostrzeżenie to nie kończy bynajmniej rozważań Natansona na ten temat. Wypowiada on bowiem takie oto jasne, głęboko przemyślane słowa:

„Dotąd dotarliśmy w teorii równowag; lecz taka teoria jest tylko odłamem potrzebnej nam w fizyce, nieodzownej termodynamiki. Równowaga jest krawędziem zjawiska; poznaawszy ją, objęliśmy wzrokiem tylko powierzchnię rzeczywistości. Znajdujemy się wówczas w położeniu żeglarza, który opłynął wyspę, lecz na nią nie wysiadł i nie zbadał jej wnętrza. Nie zatrzymamy się przecież w Nauce; nie poprzestaniemy na Teorii Równowag. Będziemy szukali praw, które przewodniczą odbywaniu się zjawisk. Będziemy szukali praw zmienności. Choćbyśmy ich nie znaleźli, trud nasz posłuży komuś, kto przyjdzie po nas i oświeci się naszym błędzeniem”<sup>67</sup>.

Jednakże, ani klasyczna dynamika Newtona czy jej uogólnienia, ani też dotychczasowa termodynamika (będąca w istocie teorią równowag) nie potrafiły ująć globalnie zjawisk typu: (1) ruch wahadła albo rozchodzenie się dźwięku w lepkiej cieczy; (2) ruch rozprężającego się, płynącego i przewodzącego ciepło gazu; (3) ruch rozpuszczającego się w nurcie rzeki kryształka soli; (4) topienie się lodu poddanego drganiom sprężystym; (5) płomień; (6) fala wybuchowa w mieszaninie tlenu i wodoru.

Termokinetyka, nowy dział energetyki-termodynamiki, dziedziczy po tej ostatniej ambicję globalnego ujmowania ogółu zjawisk, bowiem zajmując się nimi nie dzieli ich na części, lecz próbuje badać je w całości. Termokinetyka nie jest jednak bynajmniej łatwą teorią:

„[...] jest to trudna teoria, która rozwija się bardzo powoli. Ale i ona odstąpiła już pewien nieoczekiwany widok. W termokinytyce prawdziwe są znowu równania Lagrange’a, tylko uzupełnione; mamy w niej znowu twierdzenie Hamiltona, tylko sformułowane o jeden odcień ogólniej. I co jest zdumiewające: owo uzupełnienie lub uogólnienie, które jest tu potrzebne, ażeby równania Lagrange’a i zasadę Hamiltona przenieść z dynamiki do termokinytyki, jest w gruncie rzeczy tym samym aktem logicznym, który, [...] główną zasadę statyki zamienia na fundamentalną prawdę termodynamiczną teorii równowag”<sup>68</sup>.

W jedni zjawisk nieożywionej przyrody wyróżnić można dwa typy zjawisk: trwające – inercyjne i zanikające – koercyjne. Dynamika jest teorią czysto inercyjną, a teorie fourierowskie są teoriami czysto koercyjnymi. Zjawiska bezwładne są jednak tylko myślowymi abstrakcjami oderwanymi od rzeczywistości, bowiem nie ma w Naturze ruchu czystego, z racji, iż zjawisko ruchu jest nierozzerwalnie

splecione ze zjawiskami zanikającymi. W Naturze istnieje jednak zjawisko czysto inercyjne – taki charakter ma ruch fal (elektromagnetycznych) w eterze. Nie ma natomiast w Naturze zjawisk czysto koercyjnych. A to właśnie założenie przyjmują teorie fourierowskie. Jest bowiem tak: proces zaniku pewnego wiadomego rodzaju zaburzenia w określonym ośrodku materialnym jest zależny od przepływu pewnej ilości (np. masy, ilości ruchu, energii) przypadającej na jednostkę czasu i jednostkową powierzchnię. Ale ów przepływ, wywołany bodźcem zjawiska, zależy od spadku jego miary wartości przypadającej na jednostkę długości. Fourierowskie teorie zakładają, że przepływ jest zawsze proporcjonalny do wielkości tego bodźca. Zdaniem Natansona, jest to założenie nierealistyczne i teorie tego typu są jedynie

„[...] krokiem na prawdziwej drodze [...] Jest to myśl bliska prawdy, lecz tylko jej bliska. Czynność bodźca polega nie tylko na sprawianiu przepływu; okazuje się ona w tym także, że natężenie przepływu nieustannie się zmienia. Ilość przepływająca, bodziec nie tylko zmusza do płynięcia; nadto nadaje jej pewien impet”<sup>69</sup>.

W przypadku zjawisk fourierowskich ów impet jest mały i przeważa go, ogromna względem niego, koercja tj. wewnętrzny opór. Nie jest on jednak nieskończony. Dzięki Maxwellowi znane są prawa koercji, ale nie wiadomo jaka jest jej istota. To zaś, że koercja istnieje jest oczywiste, bowiem np. w dyfuzji gazów jeden z gazów hamuje drugi, ale nie powstrzymuje go całkowicie, gdyż wówczas nie byłoby zjawiska dyfuzji. Koercja, zmniejszając prędkość płynięcia, nie niszczy jej całkowicie, a skoro gaz płynie, ma bezwładność. Na przykład ciepło posiada bezwładność, aczkolwiek bardzo małą, którą możemy sobie wyobrazić dla przewodzącego ciepło gazu jako bezwładność pojedynczo biegnących molekuł.

O zachowaniu całego układu, w którym odbywają się odwracalne czy niedwracalne zjawiska, decyduje suma ogółu działających i przeciwstawnych sobie bodźców wewnętrznych – tzw. koercyjnych i inercyjnych oraz zewnętrznych – tj. zwykłych sił rozważanych np. przez dynamikę. Czynniki zewnętrzne, działając na układ, wytwarzają w nim zakłócenia, które dodają się bez zmian, czy opóźnienia, do już istniejących w układzie. Takiemu zachowaniu układu przeciwdziałają czynniki wewnętrzne: specyficzna

„[...] dążność materii, nieustanna, powszechna, zawsze skierowana do osłabienia i zniszczenia zakłóceń, do zluźnienia i wygładzenia ich skutków. Ta dążność jest niewyczerpana: gdy wytwarzamy nowe zakłócenie, już wówczas, gdy to czynimy, rozpoczyna się cierpliwa robota, która ma na celu uspakajanie zaburzeń, przywrócenie ładu i ciszy. Im dalej od tego celu, tym znaczniejsza jest dążność, tym usilniejsza jest praca; im bliżej do niego, tym bardziej słabnie i niknie, jak gdyby towarzyszyła jej troska, ażeby nie przeholować, nie wytworzyć przeciwnego zamętu, ażeby rozpląnąć się w swoim dziele i zginąć u celu”<sup>70</sup>.

Z tej koercyjno-inercyjnej perspektywy można dokonać łatwej i klarownej klasyfikacji dotychczasowych teorii, takich, jak: dynamika newtonowska, hydrodynamika, teoria sprężystości, itp.

„Możemy krótko powiedzieć: w czystej dynamice, w idealnej Hydrodynamice, w idealnej teorii Sprężystości spuszczamy z uwagi koercję. Udoskonalona teoria nie posługuje się temi przybliżeniami. W każdym materialnym zjawisku mamy zarazem: koercję i inercję a stosunek ich ilościowy bywa rozmaity w najszerszych granicach. [...] Inercja i koercja, takie są osi, wokół których świat zjawisk się kręci; żadna nie jest mniej ważna, mniej istotna niż druga”<sup>71</sup>.

Choć Natanson był pewien, że inercja i koercja nie są jedynie pustymi terminami i w istotny sposób dotyczą fizycznej rzeczywistości, dostrzegał jednak równocześnie wielkie trudności w dalszym rozwijaniu swej teorii. Dlatego wypowiada takie oto słowa:

„Prawdziwie: nauka nasza o świecie jest tylko próbą, jest usiłowaniem nauki. Wiemy mało; stoimy widocznie u początku drogi. Ocean zjawisk jak dla Newtona, i dla nas jest tajemniczy. A jednak już dziś, u progu rozumienia, po każdym kroku naprzód stajemy olśnieni i długo przyzwyczajamy wzrok do rozległości dostrzeżonych widoków. Więc czymże jest w całej pełni ta Nieskończoność, którą nazywamy Naturą?”<sup>72</sup>

Kilka miesięcy później, 6.09.1902 r., Natanson wygłasza kolejny obszerny odczyt *O teoriach materii*<sup>73</sup>. Natanson, ciągle rozmyślając nad podstawami rozwijanej przez siebie teorii, nad ich lepszym zrozumieniem i uzasadnieniem, skierowuje swoje myśli ku metodologii samej fizyki i jej historii. Szuka tam wsparcia dla własnych badań. A w ogólności, u podstaw badań z zakresu fizyki, leży ciekawość poznania biegu zjawisk przyrody. Ta właśnie ciekawość rodzi pytania następującego rodzaju:

„Dlaczego stal jest wytrzymała, kreda zaś jest krucha? Czemu miedź nie jest przezroczysta, jak szkło? Dlaczego żelazo nie poddaje się uciskowi równie łatwo, jak woda? Gdy topi się wosk, gdy alkohol wre, gdy cukier rozpuszcza się w wodzie, co dzieje się istotnie, co odbywa się pod powierzchnią zewnętrznego pozoru? Otoczeni jesteśmy materią i nie rozumiemy jej zachowania. Powinniśmy dziwić się co dzień, nieustannie, jak maleńkie dzieci, które w tym względzie są lepszymi od nas filozofami.”<sup>74</sup>

Zasadniczym problemem, jaki stoi przed uczonym, jest objęcie, ogarnięcie czy opanowanie przy pomocy jak najmniejszej liczby prostych i jednolitych symboli logicznych ogółu wrażeń zmysłowych, które otrzymujemy od materii, bądź za takie je uważamy. Taką właśnie ogólną próbą jest, zdaniem Natansona, hipoteza atomistyczna i oparta na niej statystyczna molekularna teoria materii. Zgodnie z tą teorią, ogół zjawisk przyrody dąży do (bezwzględnie, czy częściżej względnie) najbardziej prawdopodobnego w danych warunkach rozkładu molekuł

w przestrzeni, gdyż – jak określa to Natanson – „przyroda pracuje z zyskiem prawdopodobieństwa”. Ale niestety nasza wiedza o tych procesach jest niewystarczająca.

„Z tego biegu rzeczy, z tego zanikającego falowania nieprawdopodobieństwa, które dostrzegamy w zjawiskach, teoria Molekularna Statystyczna zdaje ogólnikową sprawę. Gdyby Teoria ta zdołała wyrazić ów bieg ilościowo, opanować go zatem ściśle a zarazem dostatecznie ogólnie, doniosłość jej w Filozofii Zjawisk byłaby niezmierna”<sup>75</sup>.

Problem polega na tym, że w wyniku rozwoju XVIII i XIX-wiecznej fizyki, w tym szczególnie badań sprężystości kryształów, stało się oczywiste, że należy porzucić koncepcję centralności sił międzymolekularnych. Jednak nie poznano szczegółowych praw rządzących tymi siłami. Dlatego też nieznanne są, jak dotąd, elementarne prawa ruchu indywidualnych molekuł. Z tego to właśnie powodu rozwój nauki poszedł tylko kinematyczną drogą. Usiłuje się bowiem poznać tylko ogólny charakter ruchu molekuł i wyciągać stąd płynące wnioski bez wnikania w szczegółowe dynamiczne założenia. I to właśnie czynił Natanson w rozwijanej przez niego teorii Maxwella.

„Opieramy się na pewnych ogólnych założeniach, w których istota działań czasteczkowych znajduje swój wyraz; wyraz zapewne pośredni i może daleki, ale płodny i bogaty w owoce. Takim założeniem jest hipoteza koercji”<sup>76</sup>. Owa hipoteza ma w niewątpliwie pośredni sposób modelować powszechną dążność materii do wyrównywania, osłabienia, zniszczenia czy uspakajania jakichkolwiek zaburzeń.

„Stanowisko, o którym przed chwilą mówiliśmy, nazywam *kinematycznym*; albowiem, stojąc na niem, usiłujemy poznać tylko ogólny charakter ruchu cząsteczek i wyciągać płynące stąd wnioski, lecz nie usiłujemy założeń uzasadnić dedukcyjnie, czyli, jak się mówi, objaśnić. Mamy częste przykłady podobnego postępowania w Naukach. Geometria nie zajmuje się roztrząsaniem pytania o właściwej istoty przestrzeni. Mechanika nie bada, czym jest masa, sprężystość lub siła muskularna. Newton nie wytłumaczył bezwładności, przeciwdziałania ani grawitacji; grawitacji nie odwrócił (niejako) podszewką do góry. Wskazał powszechną i prawidłową obecność tych faktów i kazał nam przyzwyczaić się do nich”<sup>77</sup>.

Natanson jest oczywiście świadom, że o metodologicznej poprawności takiego postępowania decyduje zgodność przewidywań teorii z ogółem faktów. A w takiej konfrontacji widać wyraźnie słabości kinetycznej teorii materii i Natanson doskonale widzi granice jej stosowalności:

„Ogrom własności i zjawisk, które ukazuje materia, nie ma w ogóle kresu; co zrozumieliśmy dzięki kinematycznej Atomistyce, jest drobną wysepką na morzu bezbrzeżnym. Nie może być mowy o tym, ażebyśmy



chcieli poprzestać na kinematycznych Molekularnych Teoriach. Zamysł dopełnienia ich dynamiczną Molekularną teorią nasuwa się pomimo woli.”<sup>78</sup>

Jednakże, zdaniem Natansona, mimo wielkich wysiłków XVIII i XIX-wiecznej fizyki, nie zdołano odkryć dynamicznej teorii molekularnej. Poczynione próby były nieudane, z wyjątkiem, być może, ważkiej metodologicznej lekcji, jaka wynikała z (empirycznie błędnej) maxwellowskiej hipotezy zależności sił międzymolekularnych od odległości. Brak rozwiązania tego problemu był bowiem jednym z powodów odrzucenia przez wielu myślicieli końca XIX wieku mechanicznego obrazu świata, a wraz z nim odrzucenia teorii molekularnych. Wtórowali im filozofowie poznania, którzy uznali

„Atomistykę za prostą zabawkę umysłu, której błądą naiwność obnażyli (jak mogło się wydawać) wymownie”<sup>79</sup>.

Pomimo miazdzącej krytyki, ta porzucona, wzgardzona przez wielu badaczy atomistyka przyniosła wspaniały niezwykle owoc – teorię elektronów.

„Odepchnięta, niemal ośmieszona doktryna strzeliła płomieniem i nowym światłem zalała nowe obszary Nauki. Nie odparła zarzutów; a przecież zapanowała nad myśleniem pokolenia i prowadzi je do nieoczekiwanych, niemal bajecznych zdobyczy”<sup>80</sup>.

Fakt ten dla Natansona miał istotne znaczenie, był bowiem ważkim argumentem przeciwko uleganiu w pracy badawczej zbyt pospiesznym krytykom wyrastającym z filozofii obcej duchowi nauki.

„Nauka nie jest produktem ludzkich postanowień, chęci, zamiarów i życzeń; rozwój Nauki zależy bardzo nieznacznie od panujących chwilowo poglądów, od upodobań i usposobień; rozwój Nauki ma raczej cechy zjawiska naturalnego; on rządzi się własną logiką wewnętrzną, własną nieubłąganą koniecznością chwilową. Istota tych praw nie jest jeszcze znana; bieg Nauki nie jest rozumiany. Niechaj filozofowie będą obserwatorami; niech nam ten bieg wytłumaczą, objaśnią, niechaj jego prawa odkrywają. Lecz niech nie usiłują być prawodawcami Nauki”<sup>81</sup>.

## LATA 1903–1904

W piątym okresie Natanson publikuje siedem artykułów na temat swojej teorii termokinetycznej. Rozpoczyna ten okres artykuł pt. *O zastosowaniu równań LAGRANGE’A do teorii wewnętrznego tarcia* (4 V 1903)<sup>82</sup>. Reszta tego okresu zdominowana jest przez polemikę Natansona z matematykiem Stanisławem Zaremą. Ten ostatni, w serii artykułów, w imię abstrakcyjnej, rygorystycznej matematycznej ścisłości, twierdzi, że cała teoria Natansona jest pozbawiona jakiegokolwiek wartości, bowiem, po pierwsze, nie spełnia tak elementarnej zasady jak niezależność praw fizyki od pierwszej zasady dynamiki, i, po drugie, została



wyprowadzona przy pomocy wielu nieuzasadnionych przybliżeń, itd. Jak by było tego mało, Zaremba nie poprzestał na takiej krytyce, a będąc niezwykle „oryginalnym” naukowcem zupełnie „samodzielnie” i „niezależnie” od nieścisłego Natansona sformułował „poprawną” i „ściłą” teorię tarcia wewnętrznego i teorię relaksacji<sup>83</sup>.

Natanson w serii artykułów<sup>84</sup> odrzuca istotę argumentacji Zaremby, dowodząc, że ten myli się w następującej fundamentalnej kwestii: uogólnia na całą teorię Natansona własność nie spełniania I zasady dynamiki przybliżonych równań propagacji małych zaburzeń. Co więcej, Natanson słusznie dowodzi, że Zaremba nie rozumie, iż czym innym jest (abstrakcyjna i rygorystyczna) ścisłość na gruncie samej matematyki, a czym innym („giętka”, dostosowana do konkretnego rozważanego fizycznego przypadku) ścisłość na gruncie fizyki; że pierwsza jest na gruncie fizyki czasami nierealną tylko mrzonką. A wspomniane powyżej „udoskonalenie” teorii tarcia wewnętrznego i teorii relaksacji, dokonane przez Zarembę, Natanson uważał (i słusznie) za plagiat.

#### LATA 1905–1937

W ostatnim, szóstym okresie, Natanson przestaje aktywnie zajmować się swoją teorią termokinetyczną, a w szczególności zasadą termokinetyczną. Nie potrafi bowiem znaleźć dokładnej matematycznej miary dysypacji energii, która dałaby mu możliwość nieprzybliżonego opisu odwracalnych i nieodwracalnych aspektów obserwowanych zjawisk Natury. A to z kolei miało swe źródła w niemożności sformułowania dynamicznej teorii molekularnej. Zasada termokinetyczna bez tych uzupełniających równań nie mogła adekwatnie i całościowo wyrazić nieliniowych, nierównowagowych zjawisk. I Natanson miał świadomość, że nie sprostał zadaniu, które chciał rozwiązać na początku swoich badań – to jest wyrazić integralności ogółu takich zjawisk, jak: ruchu, promieniowania elektromagnetycznego, reakcji chemicznych, typu katastroficznego, jak np. fala uderzeniowa powstająca w reakcji wodoru i tlenu, itp. czy nawet zjawiska dyfuzji w maxwellowskim ogólnym sensie tego pojęcia (choć w tej ostaniej kwestii wiedział, że osiągnął dużo).

Pomimo to, Natanson był pewien, że w swoich pracach z lat 1885–1904 dotknął w istotny sposób problemu zjawisk nieodwracalnych. I choć od 1905 r. Natanson skupił już swoje naukowe badania nad kwestiami teorii elektronowej Lorentza, optyki, a później i teorii kwantowej (zwanej przez niego undulacyjną), do końca życia powracał do swojego ulubionego tematu badań z zakresu poszukiwań zunifikowanej teorii zjawisk nierównowagowych.

W liście z 1907 roku do Smoluchowskiego, Natanson pisze tak oto:

„Teoria Kinetyczna dobiega już chyba swego kresu wyczelowaniem zaczynając jakowąś Teorię Perturbacji Niebieskich przypominać.”

W roku 1908, w podsumowaniu swoich dotychczasowych badań na temat poszukiwania zunifikowanej teorii zjawisk nieodwracalnych, Natanson publikuje *Szkie i odczyty*, w których zamieszcza wcześniej już wydane trzy eseje z lat 1900–1902: *Pogląd na rodzaje zjawisk w materialnym wszechświecie* (1900), *Inercja i koercja; Dwa pojęcia ogólne w teorii zjawisk fizycznych* (19 V 1902) oraz *O teoriach materii* (6 XI 1902)<sup>85</sup>.

Trzy lata później w liście do Smoluchowskiego z 30 III 1911 (na marginesie jednego z wykładów adresata), powie:

„Zarzutu żadnego nie mogę uczynić, gdy pomyślę, że sam przeszedł fazy myślenia, o których pan mówi. Około 1894, 1895 itd, pod wpływem, co prawda, nie Ostwalda, lecz Gibbsa, i Duhema, zdawało mi się, że Termodynamika Uogólniona da kiedyś „wszystko”. Dzisiaj, taka przepyszna struktura jak Duhema Sunergetique wydaje mi się – pałacem, ale nie fabryką – wystawą obrazów, muzeum. Bardzo subiektywne są te nasze poglądy – i zmieniać je będziemy, jeśli będziemy żyli. Istotną rzeczą jest – pracować i myśleć, a jak – to prawie wszystko jedno.”

Pomimo tych krytycznych słów, Natanson nie porzucił myśli o termodynamice uogólnionej. 11 IV 1920 r., podczas pierwszego inauguracyjnego zgromadzenia Polskiego Towarzystwa Fizycznego, w swym referacie, ukazując z charakterystyczną dla niego przenikliwością fundamentalny problem fizyki ówczesnej, stwierdził, co następuje:

„Praw rządzących materią poszukuje myśl ludzka, na bardzo różnych drogach, od wielu stuleci. Wiemy jednakże, że ogólna teoria materii w fizyce nie istnieje dotychczas. W żadnej, właściwie mówiąc, prowincji nauki nie zdołano ściśle wyrazić ilościowego przebiegu przemian, odbywających się, albo układających się do równowagi, w łonie materialnych ośrodków. Hydrodynamika i aerodynamika, teoria ciał stałych sprężystych oraz akustyka są rachunkowo rozwinięte i udoskonalone przepięknie, ale w założeniach, wywodach, twierdzeniach i wnioskach oddalają się od rzeczywistości, nierzadko bardzo daleko. Oderwana termodynamika wskazała wprawdzie zasadnicze prawa przemiany i równowagi energii; ale zastosowanie tych praw, choćby tylko w teorii fizycznych i chemicznych równowag, wymaga stopnia znajomości materii, którego nie osiągnęliśmy; dlatego doprowadza ono dotychczas do wyników niedostatecznych, niejednorodnych i w najlepszym razie tylko przybliżenie prawdziwych. Podobnie dzieje się w teorii magnetyzmu, w teorii zjawisk lepkości, dyfuzji, elektrolyzy, w teorii przewodnictwa cieplnego albo elektrycznego przewodnictwa metali. O ciałach stałych posiadamy mało wiadomości ścisłych, ogólnych; nie opanowaliśmy dotychczas ich mechanicznych ani żadnych innych własności; poznaliśmy wprawdzie stosunkowo dość jasno najważniejsze cechy kryształów; ale co do ich przechodzimy nieraz zbyt chętnie na pole zupełnej abstrakcji”<sup>86</sup>.

W eseju pt. *Pamięci Karola Potkańskiego (1922)*<sup>87</sup>. Natanson po raz kolejny odnotowuje fakt upadku w latach 1905–1922 badań termodynamicznych, a rozkwitu fizyki atomowej, teorii kwantów i teorii względności. Na przełomie wieków w centrum uwagi były dwie teorie: termodynamika i teoria elektromagnetyczna.

„Myśli moje toczyły się w owych latach torami górnych abstrakcji. Były to chwile rozkwitu Termodynamiki, wielkich zwycięstw elektromagnetycznej Teorii; były to czasy odkryć ogromnych i prób uogólnień. Prąd europejskiego myślenia obejmował nas w sobie, Witkowskiego, Potkańskiego i mnie. Dzisiaj nadeszły inne przedmioty zajęcia, wraz z nimi inne narzędzia badania, inne pomoce myślenia; dziś są nam potrzebne konkretne modele, hipotetyczne wzory, obrazy, konstrukcje. Ale myśl ludzka zmęczy się kiedyś dowolnością i sztucznością koncepcji, które muszą stać zawsze poniżej rzeczywistości; nauka wówczas powróci do uogólnień szerokich, do prawd wielkich, do rozumowań oderwanych i czystych, chociażby nawet oschłych i trudnych.

W takich uogólnieniach żyliśmy wówczas, nurzaliśmy się w nich z młodzieńczym zapałem. Z jakim podziwem, z jaką radością dostrzegaliśmy na przykład nieodwracalność fizycznych, biologicznych, psychicznych i społecznych zjawisk! Rozmawiając łącznie, entuzjazmując się wspólnie, wierzyliśmy wówczas, może tylko roiliśmy, że powszechne prawo nieodwracalności musi sięgać daleko poza zakres martwej Natury. I tej myśli i dzisiaj mimo licznych trudności i niejasnych ostrzeżeń nie mogę się oprzeć. [...] I wówczas dobrze widzieliśmy, rozumieliśmy jasno, że co dostrzegaliśmy w nieożywionej Naturze, jest mdłym spojrzeniem poza oblicze istnienia; że tak zwane nauki *ściste* tylko dzięki temu mogą (niekiedy) być *ściste*, iż zadowolają się uproszczonym schematem, niepodobnym do rzeczywistości, jak mapa niepodobna do kraju, jak architektoniczny plan do budynku. Ale jasność i siła uchwycień ilościowej analizy zjawisk czarowały nas, kształciły i kształtowały nasze myślenie”<sup>88</sup>.

Na drugim Kongresie Polskich Fizyków w dniu 29.09.1924 r. Natanson znowu ze smutkiem konstatował fakt upadku zainteresowania termodynamiką, ale wierzył, że pewnego dnia dyscyplina ta na nowo się odrodzi. Będąc pewnym wartości swoich badań, w tym samym roku Natanson dokonuje w książce pt. *Oblicze Natury*, kolejnego przedruku trzech omawianych wcześniej esejów z lat 1900–1902, związanych z tematem koercji i inercji, które zostały wspólnie wydrukowane w *Odczytach i szkicach* (1908)<sup>89</sup>. W wydaniu tym Natanson dokonuje nieznacznych modyfikacji, podyktownych rozwojem fizyki drugiej i trzeciej dekady XX wieku: teorii fluktuacji termodynamicznych, teorii względności, fizyki atomowej. W szczególności, w całej książce, zamiast terminu *eter*, Natanson używa termin *próżnia*. W eseju zaś o *Inercyi i Koercyi*, wymieniając zjawiska będące przedmiotem zainteresowania jego termokinetyki, dodaje jeden nowy przykład: „przypuśćmy, że wzniesiono wicher w niejednostajnej mieszaninie interdyfundujących wzajemnie

gazów<sup>90</sup> oraz dokonał nieznaczącej modyfikacji innego przykładu, którym wcześniej był „ruch rozpuszczającego się w nurcie rzeki kryształka soli”. Teraz przykład ten ma taką formę: „kryształ soli rozpuszcza się w burzliwie poruszającej się cieczy”<sup>91</sup>.

Z kolei, w eseju o *Teoryach materii* dołącza analizę zjawisk elektrolizy, jonizacji gazów i tzw. promieni katodowych w języku inercji i koercji<sup>92</sup>. Kilkadziesiąt stron dalej Natanson porusza temat braku idealnej ścisłości w rozwoju tzw. nauk ścisłych – co ściśle wiąże się z jego własną teorią termokinetyczną.

„Trudności, niejasności, założenia dowolne lub sprzeczne są wszędzie widoczne w teorii elektronów i dodatnich jąder, w teorii elektromagnetycznych zjawisk, w elektromagnetycznej teorii budowy materii. Ale niejasności nie zgubiły jeszcze żadnej naukowej teorii. Owszem, szczerze wyznajmy, że doskonale jasnymi bywają zazwyczaj już wyczerpane teorie. Płodne i żywe teorie, w naszej nauce, nie bywają wyprowadzone z jakowegoś wszechpotężnego aksjomatu drogą czystej, logicznej dedukcji, lecz bez wyjątku, są intuicyjne”<sup>93</sup>.

I ta publikacja nie była ostatnim słowem Natansona w omawianej kwestii, bowiem zagadnienie koercji i inercji zostanie wspomiane w 1927 roku w tekście pt. *Pamięci Marjana Smoluchowskiego*<sup>94</sup>, a rok później temat nieodwracalnej termodynamiki Natanson podejmuje w dwóch esejach o Baconie i Newtonie zamieszczonych w *Porządku Natury* (1928)<sup>95</sup>.

W eseju pt. *Bacon* Natanson analizuje m.in. zagadnienie ruchu według Arystotelesa. A według Arystotelesa ruch to synonim wszelkiej zmiany, to zarówno tzw. ruch miejscowy, lokalny, jak i topienie się lodu, namagnesowanie się opiłków żelaza itp. W przypadku ruchu lokalnego zmienia się miejsce ciała, w innych może zmieniać się ilość ciała, jakość, a nawet substancja ciała.

„Tak oderwane, tak rozległe pojęcie zmienności (niestety znów jakościowe) tworzy już Arystoteles; jeszcze i dzisiaj w fizyce, w najśmielszej z nauk, posługujemy się niem nader nieśmiało. W ograniczonym zakresie t. zw. termodynamiki (czyli, jak powiedzieliśmy, statyki uogólnionej) perypatetyczne pojęcie ruchu (czyli zmienności) panuje wszechwładnie; nie przeszło ono atoli do termodynamiki z dzieł Arystotelesa, ani z pism scholastycznych, do których fizycy nie zagląдают; narzuciły je fakty. Jest to abstrakcja szeroka; sięga o wiele dalej aniżeli umiejętność korzystania z jej mocy. Ilościowe prawa miejscowego ruchu dopiero Newton w siedemnastym wieku zrozumiał; w ósmnastym Lagrange, w dziewiętnastym Hamilton, Helmholtz, Rayleigh, Gibbs, Duhem i inni uczeni, w słynnych twierdzeniach, wskazali zarysy prawidłowego porządku, tkwiące na dnie wszelkich zmian w świecie; uogólnione równania Lagrange’a, uogólniona Hamiltona zasada – są zapewne prawdą najwyższą, do której zdołaliśmy wnieść się w nauce. Tkwi w niej (w naszych oczach) zapowiedź jeszcze dziś nieprzeczuwanego wlotu abstrakcji, który ukaże widok świata w nowym, w niespodziewanie silnym skróceniu; wielka, dotychczas jeszcze niewyzy-

skana idea, która w filozofii Arystotelesa pozostawała w rudymenarnym stadium rozwoju, rozrośnie się kiedyś, rozkwitnie, przyniesie owoce”<sup>96</sup>.

W eseju o *Newtonie* Natanson stwierdzi z kolei, iż niemal wszystkie rozważania ks. II *Pricipiów*

„wykraczają w istocie poza grunt właściwej dynamiki; leżą one w zakresie termodynamiki uogólnionej, nauki jeszcze obecnie niezbudowanej, zaledwie zaczętej. [...] rozwiązaliśmy dotychczas tylko szczególne przypadki tych wielkich zagadnień; istnieją dopiero *dissecta membra* nauki przyszłej, zupełnej. Zbiorowemi siłami potomnych pokoleń nie podołaliśmy jeszcze zadaniu, na które Newton porywając się ważył”<sup>97</sup>.

W szczegółowej kwestii rozchodzenia się głosu w powietrzu, problem postawiony przez Newtona rozwiązał dopiero Laplace. Natanson miał jednak świadomość, że ogrom problemów ciągle czekał na swe właściwe rozwiązanie. Przecież ogół zjawisk łączy się wzajemnie tworząc jednię, spójnię zjawisk. Wprawdzie w przyrodzie istnieje zjawisko odwracalne, a jest nim ruch fal elektromagnetycznych w próżni, przytłaczający ogrom innych zjawisk przyrody ożywionej i nieożywionej to zjawiska nieodwracalne. W kontekście teorii termokinetycznej Natansona, te przeciwstawne aspekty zjawisk ujmowane były przy pomocy idei inercji i koercji. Natanson był pewien, że podejście to jest zasadniczo trafne, co potwierdzi jeszcze raz w 1934 r. w eseju pt. *James Clark Maxwell*<sup>98</sup>. Pomimo to, Natanson widział wyraźnie, że teoria termokinetyczna, niestety, nie była w stanie adekwatnie ująć jedni zjawisk.

15.05.1930 r., w przemówieniu wygłoszonym z okazji przyznania mu tytułu doktora *honoris causa* jego macierzystego Uniwersytetu Jagiellońskiego, powie o sobie, że:

„nigdy nie uzyskał żadnego ważnego i trwałego wyniku, który byłby jakąś choć drobną trwałą zdobyczą nauki; atoli w dziele zbiorowem, w majątku pokoleń (jakim jest nauka ludzka) poszukiwacze podrzędni są również potrzebni; wydobywają oni i czyszczą głązy, marmury, granity, z których geniusz kiedyś wyrzeźbi wszystkim z daleka widoczne posągi”<sup>99</sup>.

Na dwa lata przed swą śmiercią, Natanson tak oto pisał w liście z 9.02.1935 r. do Arkadiusza Piekary:

„Bardzo małe są widoki, które umiałem pokazać współczesnemu mi pokoleniu. Nie potrafiłem pogłębić się, skupić, wyrzec w życiu mnóstwa rzeczy. Ale pragnąłbym, gdy mnie już nie będzie, gdy przeminie ostatni ślad mego istnienia, pragnąłbym, by ktoś o mnie pomyślał: ten człowiek miał wzrok zwrócony ku horyzontom dalekim”<sup>100</sup>.

Istotnie, Natanson miał „wzrok zwrócony ku horyzontom dalekim”, co dowiodł dalszy rozwój teorii zjawisk nieodwracalnych.

NATANSON A PÓŹNIEJSZY ROZWÓJ  
TERMODYNAMIKI NIEODWRACALNEJ

Gdybyśmy szli wzorem (prawie wszystkich) podręczników z zakresu termodynamiki nierównowagowej, powstałych w latach 1940–1980, musielibyśmy niezawodnie dojść do dwóch wniosków. Po pierwsze, teoria ta narodziła się właściwie dopiero z chwilą opublikowania w 1931 roku przez Larsa Onsagera dwuczęściowego artykułu *Reciprocal Relation in Irreversible Processes*<sup>101</sup> i, po drugie, od tej chwili dyscyplina ta rozwijała się już autonomicznie bez żadnego zasadniczego związku z wcześniejszymi, bo już tylko historycznymi, badaniami na polu teorii zjawisk termodynamicznych. By przekonać się o trafności i wartości takiego rozumienia dziejów fizyki, dokonajmy poniżej syntetycznego porównania teorii Onsagera i późniejszego rozwoju tej teorii, z jednej strony, i teorii rozwijanej przez Natansona, z drugiej.

Teoria Onsagera, przyjmując, iż przepływem pędu, energii i masy rządzą prawa fourierowskie (Newtona, Fouriera, Ficka), jest teorią liniową gradientów (prędkości, temperatury, gęstości). Teoria ta zakłada, ponadto, istnienie relacji krzyżowych. Te zaś Onsager uzasadnia wykorzystując zasadę mikroskopowej odwracalności i statystyczną teorię fluktuacji Einsteina. Ale zastosowanie równań fourierowskich w bilansach energii, pędu i masy prowadziło w konsekwencji do parabolicznych, cząstkowych równań różniczkowych, co z kolei prowadziło do supozycji o nieskończeniu szybkim rozchodzeniu się zaburzeń w układach. Ta wszakże cecha jest niezgodna z zachowaniem wielu fizycznych układów.

Zupełnie inaczej było w teorii termokinetycznej Natansona, który dzięki zastosowaniu maxwellowskiej kinetycznej teorii materii wraz z hipotezą koercji Maxwella, podkreślał, iż prawa fourierowskie mogą być tylko pierwszym przybliżeniem, pierwszym krokiem do prawdy. Zastosowanie tych praw w bilansach energii, pędu i masy prowadziło do cząstkowych równań hiperbolicznych i skończonej prędkości rozchodzenia się zaburzeń. Równania te mają tę ciekawą własność, iż w granicznych przypadkach mogą „przejsć” w cząstkowe równania różniczkowe typu parabolicznego, bądź różniczkowe równanie typu falowego. Mogą więc modelować obszerniejszą klasę zjawisk fizycznych. Natanson nie stosował w swoich rozważaniach zasady mikroskopowej odwracalności i statystycznej teorii fluktuacji Einsteina. W szczególności Natanson nie zaakceptowałby u podstaw swojej teorii zasady mikroskopowej odwracalności, bowiem taka idea miała swe źródła w odwracalnej dynamice i odwracalnej termodynamice. A jak pamiętamy, Natanson twierdził, że poprawna teoria zjawisk termodynamicznych powinna włączać od samego początku zarówno odwracalny, jak i nieodwracalny aspekt każdego zjawiska, silnie uwypuklając jednocześnie wagę współzawodnictwa zarówno jednego, jak i drugiego aspektu. Z tego właśnie powodu mówił o współzawodnictwie inercji i korecji, które są osiami ogółu zjawisk. W swoich poszukiwaniach Natanson nie używał statystycznej teorii fluktuacji, natomiast



zamiast niej stosował część kinetyczną dynamicznej teorii gazów Maxwella – a teoria ta jest także teorią statystyczną; wiedział też, że kinetycznej części dynamicznej teorii gazów Maxwella nie sposób dalej już rozwijać. Onsager, tak jak Natanson, posługiwał się ideą i terminem przepływu i uogólnionej siły (zwanego przez Natansona również bodźcem). Onsager rozważa zagadnienie produkcji entropii, podczas gdy Natanson dyskutuje zagadnienie nieskompensowanego ciepła – z wyjątkiem różnicy w terminach, ten sam merytorycznie problem. Szczególnie interesujący jest fakt, że w kontekście teorii Onsagera zdefiniowana jest, z powołaniem się na Rayleigha, funkcja – potencjał, zwana funkcją dysypacyjną  $\phi$ . U Onsagera funkcja dysypacyjna  $\phi$  jest iloczynem sił uogólnionych i prędkości uogólnionych, i różni się od funkcji dysypacyjnej Rayleigha  $F$  jedynie czynnikiem (odwrotnością temperatury bezwzględnej). Natomiast u Natansona, który w latach 1893–1902 wiele rozprawił na temat funkcji dysypacyjnej, funkcja dysypacji oznaczana przez  $F$  jest uogólnieniem (przy pomocy części kinetycznej dynamicznej teorii gazów Maxwella) koncepcji funkcji dysypacyjnej rayleighowskiej dynamiki nieodwracalnej  $F$  na ogół przypadków zjawisk nieodwracalnych, opisywanych przez różne teorie (np. teorię Maxwella zjawisk elektromagnetycznych). Co więcej, nawiązując do W.Thomsona i Rayleigha, Onsager formułuje zupełnie prostą zasadę wariacyjną najmniejszej dysypacji energii, zaś Natanson – nawiązując do W.Thomsona, Rayleigha, Helmholtza i Duhema – znacznie bardziej ogólną wariacyjną zasadę, którą nazwał zasadą termokinetyczną. Co więcej, nawiązując do W. Thompsona i Rayleigha Onsager formułuje zupełnie prostą zasadę wariacyjną największej dysypacji energii, zaś Natanson – nawiązując do W. Thompsona, Rayleigha, Helmholtza i Duhema – znacznie bardziej ogólną wariacyjną zasadę, którą nazwał zasadą termokinetyczną. Co więcej, według Natansona, termodynamika upodobniła się do statyki poprzez wprowadzenie potencjału termodynamicznego, będącego analogiem potencjału statycznego i uwzględniającego dodatkowe człony związane z cieplnym aspektem procesu termodynamicznego. U Onsagera funkcja dysypacyjna  $\phi$  pełni rolę potencjału. Taką też w istocie rolę pełni u Natansona, który dowodził, że jego funkcja dysypacyjna  $F$  jest zawsze dodatnia w procesach nieodwracalnych, a równa zeru w procesach odwracalnych.

W rozwoju fenomenologicznej teorii Onsagera, gdy zastosowano ją do opisu ośrodków ciągłych, coraz bardziej zaczęto stosować w niej język klasycznej teorii pola. Rysowała się więc analogia między tą teorią a hydrodynamiką<sup>102</sup>. To, z kolei, doprowadziło do sformułowania całkowitych zasad wariacyjnych: zasady procesów dysypacyjnych Gyrmatego i zasady Voyty (o czym niżej). Jak widzieliśmy, odkrycie analogii między termodynamiką a hydrodynamiką nie było niczym oryginalnym dla Natansona, bo w rozwijanej przez niego (w ślad za m.in. Maxwellem) teorii termokinetycznej hydrodynamika była w istocie integralną jej częścią – była bowiem granicznym przypadkiem teorii kinetycznej, gdy prędkości molekularne przestawały mieć wpływ na przebieg zjawiska.

Co więcej, można pokazać, że zasady Gyrmatego i Voyty mogą być uzyskane z zasady termokinetycznej Natansona traktując ją najpierw czysto fenomenologicznie, a następnie uogólniając ją przy pomocy języka klasycznej teorii pola<sup>103</sup>.

Ponieważ teoria Onsagera radziła sobie dosyć dobrze tylko z opisem zjawisk transportowych, a gorzej – z opisem reakcji, natomiast zupełnie była bezradna wobec zagadnienia opisu procesów dalekich od równowagi, takich jak procesy turbulentne, próbowano zbudować nieliniowe teorie zjawisk nieodwracalnych. Jednakże, ponieważ następcy Onsagera nie byli w stanie znaleźć ogólnej nieliniowej funkcji dysypacji energii – co, jak widzieliśmy, było celem Natansonowskich poszukiwań na przełomie XIX–XX wieku – w kolejnym kroku przedsięwzięto analizy stanów dalekich od równowagi. W efekcie odkryto dysypacyjne struktury (Prigogine i jego Szkoła Brukselska). Z badaniami tymi, bezpośrednio lub pośrednio, wiążą się też współczesne badania zjawiska chaosu deterministycznego w układach dynamicznych (Lorentz), powstanie matematyki fraktali i sformułowanie matematycznej teorii katastrof (René Thom). Jednakże pomimo tego rodzaju ogromnych osiągnięć nie odkryto, jak dotąd, jednej zintegrowanej teorii zjawisk nieodwracalnych, a takiej poszukiwał Natanson na przełomie XIX–XX wieku.

Z tego krótkiego porównania teorii Onsagera i jej kontynuacji, z jednej strony, a teorii Natansona, z drugiej, widać wyraźnie, że pomimo istnienia ważkich różnic, istnieją też duże podobieństwa nie tylko diskutowanych tematów, ale również kilku używanych istotnych terminów i idei<sup>104</sup>. A co więcej, teoria Natansona była pomyślana szerzej niż teoria Onsagera. W jej kontekście sformułowana była całkiem ogólna zasada wariacyjna, zwana zasadą termokinetyczną, uzupełniona o hipotezę koercji Maxwella (1867); przyjęcie tej hipotezy prowadziło m.in. do hiperbolicznych równań bilansu energii, pędu i masy, a nie do parabolicznych, jak to było w teorii Onsagera. Wymienione powyżej różnice przemawiają na korzyść teorii Natansona<sup>105</sup>.

Dlatego, jak sądzę, o rozważanych tutaj pracach Natansona należy pamiętać z trzech powodów: historycznego, filozoficznego i naukowego.

Mając na uwadze samą historię nauki, warto wiedzieć, że prace te były znane na przełomie XIX–XX wieku, choćby tylko dlatego, że pisane były w czterech językach: polskim, francuskim, angielskim i niemieckim, a ukazywały się w znanych ówczesnych czasopismach naukowych: *Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności*, *Bulletin International Academie Polonais*, *Comptes Rendus de l'Academie Frances des Sciances*, *Zeitschrift für physikalische Chemie*, *Ann. d. Naturphilosophie*, *Philosophical Magazine*, *Journal of Physical Chemistry*.

Mając na względzie filozofię nauki, poszukiwania przez Natansona zunifikowanej teorii zjawisk nieodwracalnych są świetnym przykładem rzetelności badawczej, wyteżonej pracy filozoficznej, której celem jest uświadomienie sobie ograniczeń podstaw obowiązujących teorii i wskazanie sposobu poszukiwania nowych teorii, łącznie z nadaniem im fizycznej interpretacji. W szczególności,



Natanson systematycznie posługiwał się postulatem korespondencji praw, teorii, a w konsekwencji znajdował prawa, teorie połączone zasadami korespondencji.

Mając na uwadze współczesną fizykę, warto pamiętać o pracach Natansona poświęconych poszukiwaniu zintegrowanej teorii zjawisk nieodwracalnych i patrząc się, jak on, „w odległy horyzont” nadal poszukiwać teorii, która mogłaby w integralny sposób tłumaczyć i opisywać w języku inercji i koercji zjawiska typu: (1) ruch wahadła albo rozchodzenie się dźwięku w lepkiej cieczy; (2) ruch rozprężającego, płynącego i przewodzącego ciepło gazu; (3) ruch rozpuszczającego się w burzliwym nurcie rzeki kryształka soli; (4) topienie się lodu poddanego drganiom sprężystym; (5) płomień; (6) fala wybuchowa w mieszaninie tlenu i wodoru.

#### NATANSON A TZW. ROZSZERZONA TERMODYNAMIKA NIEODWRACALNA<sup>106</sup>

Znaczenie moich prac na temat poszukiwań przez Natansona zunifikowanej teorii zjawisk nieodwracalnych i tezy o ciągłej łączności historii i filozofii fizyki z uprawianiem samej fizyki, zostało potwierdzone w zgoła nieoczekiwany dla mnie sposób przez fizykę ostatnich dni. W latach 1992–1993 powstały bowiem następujące prace:

- [1] G. L e b o n , D. J o u , J. C a s a s - V a z g u e z : *Questions and answers about a thermodynamics of the third type*. „Contemporary Physics” 1992 nr 33 s.41–51.
- [2] D. J o u , G. L e b o n , J. C a s a s - V a z g u e z : *Extended Irreversible Thermodynamics*. Springer-Verlag Berlin 1993, s.VII+319.
- [3] I. M ü l l e r , T. R u g g e r i : *Extended thermodynamics* „Springer Tracts in Natural Philosophy” 1993 vol. 37, s.XI+230.

Wszystkie te prace poświęcone są omówieniu trendów rozwojowych w termodynamice współczesnej, począwszy od roku 1931, w którym ukazały się rozważane już w tym artykule prace Onsagera. Zreferujemy te kwestie według pracy [1].

W termodynamice współczesnej wyróżnia się trzy drogi rozwoju:

- (1) Klasyczna Nieodwracalna Termodynamika – od angielskiego Classical Irreversible Thermodynamics (CIT) – jej reprezentami są np. L.Onsager, I.Prigogine.
- (2) Racjonalna Termodynamika – od angielskiego Rational Thermodynamics (RT) – L.Truesdell, B.D.Colleman i W.Noll.
- (3) Rozszerzona Nieodwracalna Termodynamika od angielskiego Extended Irreversible Thermodynamics (EIT).

Omówmy krótko te trzy trendy.

CIT przejęła część zasadniczych pojęć klasycznej termodynamiki równowagowej i bez zmiany ich znaczenia próbowała wykorzystywać je w stanach nierównowagowych, przyjmując jednocześnie założenie o istnieniu lokalnej równowagi. Teoria ta stosuje się dosyć dobrze w stanach niedalekich od równowagi, a znalazła swe uzasadnienie na gruncie teorii gazów, teorii liniowej odpowiedzi oraz eksperymentalnych obserwacji, głównie zjawisk termoelektrycznych i termodyfuzyjnych.

RT została pomyślana bardziej ambitnie niż CIT. Miała ona bowiem opisywać szeroką klasę zjawisk poza stanami równowagi. Co więcej, miała być uprawiana w stylu aksjomatycznym, dążąc do osiągnięcia ścisłości rodem z XIX-wiecznej mechaniki analitycznej. Konsekwencją jest znaczne zwiększenie matematycznej złożoności teorii, jednakże bez jasnego zrozumienia sensu fizycznego uzyskiwanych wyników.

Ani CIT, ani też RT nie radzą sobie z opisem procesów odbywających się z dużymi częstotliwościami.

Tego typu kwestie były powodem, dla którego tacy badacze, jak R. Nettleton (1960), I. Müller (1967), G. Lebon, D. Jou, J. Casas-Vazquez (1978–1980), B. Eu (1980) oraz L. Garcia-Colin (1984, 1988), zaproponowali podejście, które współcześnie określa się mianem rozszerzonej nieodwracalnej termodynamiki EIT. Teoria ta jest mezoskopowym i przyczynowym opisem procesów nieodwracalnych, a została stworzona specjalnie po to, by wyjść poza hipotezę lokalnej równowagi i uniknąć paradoksu nieskończenie szybkiego rozchodzenia się zaburzeń w ośrodkach. A taką własność mają równania typu parabolicznego, do których prowadziło zastosowanie równań fourierowskich w równaniach bilansu energii, momentu pędu i masy.

Geneza EIT, zdaniem jej współczesnych propagatorów, sięga pracy Maxwella *On the Dynamical Theory of Gases* (1867), w której wprowadzono została m.in. idea czasu relaksacji. Jej zastosowanie prowadziło do hiperbolicznych cząstkowych równań różniczkowych bilansu energii, pędu i masy, a w tego typu równaniach zaburzenia przenoszą się ze skończoną prędkością. Temat ten został następnie podjęty przez C. Cattaneo (1948, 1958) i P. Vernotte (1958), a później przez wspomnianych wyżej uczonych w trzech ostatnich dekadach.

I tu współczesna fizyka wiąże się ściśle z dziejami fizyki<sup>107</sup>. Okazuje się bowiem, że Władysław Natanson, zajmując się na przełomie XIX–XX wieku termodynamiką, energetyką, termodynamiką uogólnioną oraz, w szczególności, termokinetyką, badał problemy, które są do dziś aktualne i ciągle żywe w trzech współczesnych nurtach termodynamiki: CIT – o czym jasno już mówił mój referat, a także z RT i EIT.

Natanson, jak dowodzi tego choćby (wspominana już szkicowo) jego polemika z Zarembą – rzecznikiem ścisłości rodem z analitycznej XIX-wiecznej mechaniki, nie był zwolennikiem RT, gdyż ten typ ścisłości jest zbyt idealny na potrzeby

i możliwości fizyki. „Nie czując” tego typu kwestii, współczesny propagator RT, Truesdell nie miał racji opowiadając się w sporze Zaremba – Natanson całkowicie za tym pierwszym. W szczególności Zaremba i Truesdell byli w błędzie, przyjmując zasadę niezależności tzw. równań konstytutywnych od dowolnie obranego układu odniesienia<sup>108</sup>. Tym niemniej, jak to już referowaliśmy, Natanson zajmował się m.in. hydrodynamiczną teorią Stokesa-Naviera, dynamiczną teorią gazów Maxwella, hipotezą koercji Maxwella, czy wreszcie rozwinięciem myśli Maxwella przez Boltzmanna – tak ulubionymi tematami zwolenników podejścia w ramach racjonalnej termodynamiki<sup>109</sup>. W odróżnieniu jednak od zwolenników podejścia RT, Natanson rozwijał kinetyczną część teorii Maxwella, wiedział bowiem, że liczne doświadczenia sfalsyfikowały (by użyć popperowskiego wyrażenia) maxwellowską hipotezę oddziaływań międzymolekularnych.

Co jeszcze ważniejsze, natansonowska termokinetyka, wyrastając z części kinetycznej dynamicznej teorii gazów Maxwella, koncepcji koercji (relaksacji) Maxwella, koncepcji dyfuzji uogólnionej Maxwella i wielkich uogólnień w stylu dynamiki analitycznej Lagrange’a, zasady Hamiltona, rozważań Helmholtza, Gibbisa oraz Duhema, wyprzedziła o całe 70–80 lat niektóre z ważnych idei i wyników stosowanych i uzyskiwanych w kontekście EIT. Natanson bowiem, rozwijając podejście termokinetyczne, uzyskał w latach 1895–1902 m.in. ogólne rozwiązanie zagadnienia przepływu ciepła w kontekście dynamicznej teorii gazów Maxwella, a wynik ten przypisuje się obecnie Cattaneo (1948, 1958), przy czym określa się rozwiązanie tego zagadnienia mianem wzoru Cattaneo-Vernot’a, czy też Maxwella-Cattaneo. Co więcej, Natanson w łatwy sposób nadawał fizyczny sens swoim wynikom (zarówno otrzymywanych efektywnych równań, jak i ich konkretnych rozwiązań), gdyż podstawą jego teorii była stosunkowo łatwo interpretowalna część kinetyczna dynamicznej teorii gazów Maxwella. Inaczej było w przypadku propagatorów EIT. Doszli oni bowiem do swoich równań na drodze fenomenologicznej, odkrywając wcześniej, wzorem Cattaneo (1948, 1958) i Vernotte (1958), paradoksalną – bo dla wielu modelowanych sytuacji niefizyczną – własność nieskończenie szybkiego rozchodzenia się zaburzeń w cząstkowych równaniach różniczkowych typu parabolicznego, otrzymywanych w kontekście teorii Onsagera.

Mało tego, równania uogólnionej dyfuzji, podane przez Natansona w 1901 roku, są ogólniejsze od analogicznych tzw. równań Maxwella-Cattaneo, rozważanych przez niektórych zwolenników EIT<sup>110</sup>. Różnią się one mianowicie w członie zwanym przez Natansona bodźcem przepływu, tak, że dopiero w fourierowskim przypadku granicznym otrzymuje się takie same zależności.

Zwolennicy EIT mają niewątpliwie sporo racji twierdząc, że początki tej dyscypliny sięgają dynamicznej teorii gazów Maxwella (1867). Podobnie było też w przypadku Natansona, który ogromną liczbę swych wyników, otrzymywanych w kontekście jego teorii termokinetycznej, traktował jako przyczynki do rozważań Maxwella. Ale Natanson, wzorem Duhema, wiedział też, że teoria ta nie zrodziła

się nagle w umyśle genialnego Maxwella. Teoria ta w naturalny sposób wyrosła z rozwoju fizyki: zarówno z wcześniejszych teorii ciepła, jak i mechaniki Newtona. Podobnie teoria termokinetyczna Natansona bogatsza była od teorii Maxwella o nowe idee, zrodzone na polu termodynamiki i energetyki. Natanson wiedział, że – w bliższej perspektywie czasowej – geneza rozwijanej przez niego teorii termokinetycznej sięga ks.II *Principiów* Newtona (1687). W szczególności, chodziło tu o problem rozchodzenia się dźwięku w powietrzu – problem postawiony, ale źle rozwiązany przez Newtona. Rozwiązał go wiele lat później Laplace, tworząc dynamikę adiabatyczną. Ważki sukces odniósł też na podobnym polu Fourier – tworząc analityczną teorię ciepła, lord Kelwin – formułując zagadnienie rozpraszania energii, lord Rayleigh – tworząc dynamikę nieodwracalną, (m.in.) lord Kelwin, Rankine, Clausius, Helmholtz, Gibbs, Duhem – formułując i rozwijając termodynamikę, Clausius, a szczególnie Maxwell – formułując dynamiczną teorię ciepła, Duhem – rozwijając energetykę, termodynamikę uogólnioną czy dynamikę uogólnioną. Podstawy konceptualne energetyki Duhema w naturalny sposób wyrastają z energetyki Rankine’a (1855) i dynamiki analitycznej Lagrange’a<sup>111</sup>, ta pierwsza zaś sięga korzeniami arystotelesowskiej fizyki i szerokiego arystotelesowskiego pojęcia ruchu czyli szeroko pojmowanej zmiany ilości oraz jakości substancji<sup>112</sup>.

Na takim właśnie fundamencie bohater tego artykułu, Władysław Natanson, sformułował teorię termokinetyczną. Choć zapomniana, teoria ta, obok teorii Maxwella, powinna być uznana jako historyczne źródło rozszerzonej nieodwracalnej termodynamiki (*Extended Irreversible Thermodynamics*). Przemawia za tym wiele powodów. Obok wspomnianych już wcześniej, także i następujący: integralną częścią teorii Natansona, wzorem Duhema i Helmholtza, były uogólnione równanie Lagrange’a i zasada wariacyjna – tematy niezwykle często podejmowane w termodynamice II połowy XX wieku<sup>113</sup>. Oczywiście, w krótkiej perspektywie czasowej, EIT wyrasta w naturalny sposób z krytyki klasycznej termodynamiki nieodwracalnej (Onsager, Prigogine), uwzględniając wprowadzane przez nią koncepcje m.in. zasadę lokalnej odwracalności, zasadę lokalnej równowagi oraz zastosowanie teorii fluktuacji termodynamicznych Einsteina.

Tak oto potęgą dziejów fizyki, fizyki, która zawsze była i będzie filozofią przyrody, sprzęga się z codziennością jej współczesnego uprawiania, poszukiwania nowych teorii opisujących coraz ogólniej i dokładniej zjawiska przyrody. Jakże piękna i fascynująca wydaje się z takiej perspektywy fizyka i, naprawdę, ileż racji miał Natanson – ten człowiek zapatrzony w odległy horyzont – który nie bez powodu upierał się by w żadnym wypadku nie dzielić wydziałów filozoficznych na wydziały humanistyczne oraz wydziały matematyki i tzw. nauk ścisłych.

### Przypisy

<sup>1</sup> Przedstawiony tutaj artykuł jest kontynuacją moich wcześniejszych badań natansowskich. (Zob. „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1993 R.38 nr 4 s.39–69, i 1994 R.39 nr 1 s.21–40.).

<sup>2</sup> W. Natanson: *Wspomnienia i szkice*. Z przedmową Arkadiusza H. Piekary. Kraków 1977, s.13–14.

<sup>3</sup> Szersze informacje biograficzne zob. przypisy 3, 5–7, na s.41 pierwszego artykułu cytowanego w przypisie 1 tego artykułu.

<sup>4</sup> U Boltzmana Natanson próbował się uczyć i zamierzał się habilitować. Jednakże względy formalne – konieczność pozostania w Grazu na dłuższy czas po habilitacji – uniemożliwiły realizację tego planu.

<sup>5</sup> We współczesnej terminologii oznacza to, że Natanson był profesorem fizyki. Genezie pojęć *filozofia przyrody i fizyka*, poświęciłem kilka paragrafów w moim referacie pt. *To Avoid Triteness: Some Difficulties in Teaching the History and Philosophy of Physics*. W: *Proceeding of the 7th Biennial Conference on History and Philosophy of Physics in Education* (Bratislava August 21–24, 1996), (w druku).

<sup>6</sup> *Autobiografia*. (Reprint). „Postępy Fizyki 1958 t.9 s.115–119, tutaj s.115.

<sup>7</sup> Tamże.

<sup>8</sup> Kompletny spis prac Natansona znajduje się w: J. Weysenhoff: *Władysław Natanson*. „Acta Physica Polonica” 1937 t.6 s.295–307 7), tutaj s. 301–307; większość z nich (wraz z dokładniejszymi informacjami bibliograficznymi) zob: B. Średniawa: *History of Theoretical Physics at Jagiellonian University in Cracow in XIXth Century and in the First Half of XXth Century*. Warszawa-Kraków 1985. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego DCCXXVII. Prace fizyczne z.24.

Na temat prac Natansona dotyczących poszukiwań termodynamiki nieodwracalnej pisało już przed nami szereg badaczy (zob. przypisy 3–10 na s.41 pierwszego artykułu cytowanego w przypisie 1 tego artykułu), nikt jednak nie robił tego z interesującego nas tutaj punktu widzenia ujmowania fizyki jako zintegrowanych badań matematyczno-eksperymentalno-filozoficznych.

Na temat prac z zakresu statystyki kwantowej promieniowania elektromagnetycznego zob. przypis 2 wspomnianego artykułu.

Na temat prac z zakresu optyki zob. cytowana w przypisie 8 praca Prof. B.Średniawy.

<sup>9</sup> Taki chronologiczny podział znajduje swe uzasadnienie w pewnej odmienności badań naukowych podejmowanych przez Natansona w różnych okresach. Mam wszak jasną świadomość, iż wszelka periodyzacja na gruncie historii jest przybliżona i tak też jest w tym przypadku.

<sup>10</sup> W referacie przedstawionym na XIXth International Congress of History of Science (Zaragoza (Spain), 22–28 August 1993) skupiłem się na analizie badań Natansona z lat 1894–1937 ze szczególnym uwzględnieniem lat 1894–1904 i 1907–1937 oraz związku tych prac z powstaniem i rozwojem termodynamiki nieodwracalnej L. Onsagera.

<sup>11</sup> *Badania nad dysocjacją dwutlenku azotu*. „Kosmos” 1885 t.10 s.128–136, 151–167; *Über die Dissoziattion des Untersalpetersduredampfes*. „Wied. Ann.” 1885 t.24 s.454–

467; *Dalsze badania nad dysocjacją dwutlenku azotu*. „Kosmos” 1886 t.11 s.301–326; *Über die Dissoziatiion des Untersalpetersäuredampfes*. „Wied. Ann.” 1886 t.27 s.606–622. Prace te, będąc jednymi z pierwszych ilościowych potwierdzeń tzw. prawa działania mas odkrytego na drodze teoretycznej przez C.M.Guldberga i P.Waagego w 1867 roku, znalazły szeroki oddźwięk wśród naukowców. Były one np. referowane przez sir Williama Ramseya na zebraniu British Association i często cytowane w ówczesnych podręcznikach np. w Nernsta: *Theoretische Chemie* mającego w latach 1893–1926 aż 15 wydań. Zob. *Wkład polskich uczonych do fizyki statystyczno-molekularnej*. (Praca zbiorowa pod redakcją T.Piecha). Wrocław-Kraków-Warszawa 1962 s.26 Przypis redakcji a.

<sup>12</sup> *Badania nad dysocjacją*, dz.cyt. s.6–7.

<sup>13</sup> *Uwagi nad drugim prawem mechanicznej teorii ciepła*. „Kosmos” 1888 t.13 s.256–265.

<sup>14</sup> Tamże s.264.

<sup>15</sup> Tamże s.265.

<sup>16</sup> Tamże s.265.

<sup>17</sup> *Wstęp do fizyki teoretycznej*, Warszawa 1890. s. XII+458.

Okres pisania tego podręcznika był czasem ożywionych dyskusji Natansona z Władysławem Gosiewskim i Augustem W. Witkowskim, co znajduje swój zasłużony wyraz w podziękowaniach wyrażonych na pierwszych kartach tego podręcznika.

<sup>18</sup> *Wstęp do fizyki teoretycznej ...*, s.110.

<sup>19</sup> Tamże s.3.

<sup>20</sup> Tamże.

<sup>21</sup> Tamże.

<sup>22</sup> Tamże s.220.

<sup>23</sup> Tamże s.226–227.

<sup>24</sup> Tamże s.363.

<sup>25</sup> Tamże s.364.

<sup>26</sup> Tamże s.390.

<sup>27</sup> Jak opisywałem to już w innych moich referatach i artykułach, zasada ta jest świadomie stosowana przez teoretyków co najmniej od 2600 lat.

<sup>28</sup> W. N a t a n s o n , *Wstęp do fizyki teoretycznej*, s.454.

<sup>29</sup> *Sur les potentiels thermodynamiques*. „Bull.Int.Acad.Polon.” 1891 s.156–161; *Über thermodynamische Potentiale*. „ZS.f.phys.Chem.” 1892 t.10 s.737–747; *O potencjalach termodynamicznych*. „Rozpr. Wydz. Mat-Przyr. Ak. Um.” 1893 t.24 s.137–151.

<sup>30</sup> *Sur l'interprétation cinétique de la fonction de dissipation*. „Bull. Int.Acad. Polon.” 1893 s.348–357 i „Comptes Rendus de l'Académie Frances des Sciances” 1893 t.117 s.539–542; *O znaczeniu kinetycznej funkcji dysypacyjnej*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak. Um.” 1895 t.29 s.171–180; *Über die kinetische Bedeutung der Dissipationsfunktion*. „ZS.f.phys.Chem.” 1894 t.13 s.437–444; *On the kinetic interpretation of the dissipation function*. „Phil. Mag.” 1895 t.39 s.455–460.

<sup>31</sup> *O znaczeniu kinetycznej funkcji dysypacyjnej*. dz.cyt. s.178; *Wkład ...*, dz.cyt. s.50.

<sup>32</sup> *Sur l'énergie cinétique du mouvement de la chaleur et la fonction de dissipation correspondante*. „Bull. Int.Acad. Polon.” 1894 s.295; *O energii kinetycznej ruchu ciepła*

*i o funkcji dysypacyjnej odpowiedniej.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1895 t.27 s.273; *Über die kinetische Bewegung der Wärme und die entsprechende Dissipationsfunktion.* „ZS.f.phys.Chem.” 1895 t.16 s.289; *On the kinetic energy of the motion of heat and the corresponding dissipation function.* „Phil. Mag.” 1895 t.39 s. 501.

<sup>33</sup> Natanson, *O energii kinetycznej*, dz.cyt. s.274.

<sup>34</sup> Tamże s.287.

<sup>35</sup> Tamże s.288.

<sup>36</sup> *Materia i energia.* „Wszechświat” 1895 t.14 s.129–136.

<sup>37</sup> *O prawach zjawisk nieodwracalnych.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1896 t.30 s.309–336; *Sur les lois des phénomènes irréversibles.* „Bull. Inter. Acad. Polon.” 1896 s.117–145; *Über die Gesetze nicht umkehrbarer Vorgänge.* „ZS.f.phys.Chem.” 1896 t.21, s.193–217; *On the laws of irreversible phenomena.* „Phil. Mag.” 1896 vol.41 s.385–406.

<sup>38</sup> Natanson podawał tutaj dokładne odnośniki do prac wymienionych autorów i do jednej z prac J.J.Thomsona – prace te omawiałem w moim wcześniejszym artykule. Zob. „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1994 r.39 nr 1 s.31–36.

<sup>39</sup> Natanson, *O prawach zjawisk nieodwracalnych*, dz.cyt. s.308–309; *Wkład ...* dz.cyt. s.57–58.

<sup>40</sup> Natanson, *O prawach zjawisk nieodwracalnych*, dz.cyt. s.326; *Wkład ...*, dz.cyt. s.72.

<sup>41</sup> Natanson, *O prawach zjawisk nieodwracalnych*, dz.cyt. s.328; *Wkład ...*, dz.cyt. s.74.

<sup>42</sup> *O termokinetycznych własnościach potencjałów termodynamicznych.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak. Um.” 1897 t.34 s.67–80; *Sur les propriétés thermocinétiques des potentiels thermodynamiques.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1897 s.247–259; *Über die thermokinetische Eigenschaften thermodynamischer Potentiale.* „ZS.f.phys.Chem.” 1897 t.24 s.302–314.

*O teorii kinetycznej ruchu wirowego.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak. Um.” 1898 t.33 s.154–171; *Sur la théorie cinétique du mouvement tourbillonnaire.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1897 s.155–167.

*O wpływie ruchu na zmiany stanu skupienia.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak. Um.” 1899 t.35, 220–246; *Sur les changements d'état dans système en mouvement.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1898 s.103–123, 201–213; *Über die Zustandsänderungen in einem in Bewegung begriffenen System.* „ZS.f.phys.Chem.” 1898 t.26 s.285–305.

*O termokinetycznych własnościach roztworów.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak. Um.” 1899 t.35 s.337–400; *Sur les propriétés thermocinétiques des solutions.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1898 s.294–312; *Über die thermokinetische Eigenschaften der Lösungen.* „ZS.f.phys.Chem.” 1899 t.30 s.681–704.

<sup>43</sup> *Pogląd na rodzaje zjawisk w materialnym wszechświecie.* Kraków 1901 s.16; pierwodruk „Przegląd Współczesny” 1900; przedruk w: *Odczyty i szkice.* Warszawa 1908 s.1–25;

*Ein Überblick über die Erscheinungen im materialen Weltall.* „Ann. d. Naturphilosophie” 1901 t.1 s.133–147.

<sup>44</sup> Tamże s.3–4.



45 Tamże s.5.

46 Tamże s.6.

47 Tamże s. 7–8.

48 Tamże s.11.

49 Tamże s.11.

50 Tamże s.13.

51 Tamże s.25.

52 *O prawach tarcia wewnętrznego.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1901 t.41, Dz. A s.223–240; *Sur le lois de la viscosité.* „Bull. Inter. Acad. Polon.” 1901 s.95–111; *On the laws of viscosity.* „Phil. Mag.” 1901 t.2 s.342–356; *Über die Gesetze der inneren reibung.* „ZS f.phys.Chem.” 1901 t.38 s.690–704.

53 Tamże s.224.

54 *O prawach dyfuzji zjawisk.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1901 t.41 Dz.A s.447–461; *Sur le lois de la diffusion.* „Bull. Inter. Acad. Polon.” 1901 s.335–348.

55 Tamże s.448.

56 Tamże s.461.

57 *O rozchodzeniu się małych ruchów w płynach lepkich.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1902 t.42 Dz.A s.28–44; *Sur la propagation d'un petit mouvement dans un fluide visqueux.* „Bull. Inter. Acad. Polon.” 1902 s.19–35; *Über die Fortpflanzung einer kleinen Bewegung in einer Flüssigkeit.* „ZS f.phys.Chem.” 1902 t.40 s.581–596.

58 *O przewodnictwie cieplnym poruszającego się gazu.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1902 t.42 Dz.A s.70–77; *Sur la conductibilité calorifique d'un gaz en mouvement.* „Bull. Inter. Acad. Polon.” 1902 s.137–146.

59 *O funkcji dysypacyjnej płynów lepkich.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1902 t.42 Dz.A s.339–404; *Sur la fonction dissipative d'un fluide visqueux.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1902 s.488–493 i „Journ. de Phys. théor. et appl.” 1903 t.2 s.702–705; *Über die Dissipationsfunktion einer zähen Flüssigkeit.* „ZS.f.phys.Chem.” 1903 t.43 s.179–184.

60 *O odkształceniu krążka plastyczno-lepkiego.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1902 t.42 Dz.A s.405–423; *Sur la deformation d'un disque plastico-visqueux.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1902 s.494–512; *Über die Deformation einer plastisch-viskösen Scheibe.* „ZS.f.phys.Chem.” 1903 t.43 s.185–202.

61 Wykład ten następnie publikuje po polsku i angielsku: *Inercja i koercja.* W: *Odczyty i szkice.* Warszawa 1908, s. 26–49; *Inertia and Coercion.* „Journ. of Phys. Chem.” 1903 t.7 s.118.

62 *O teoriach materii.* W: *Odczyty i szkice.* Warszawa 1908 s. 50–76.

63 Tamże s.35.

64 Tamże s.34–35.

65 Tamże s.36.

66 Tamże s.40.

67 Tamże.

68 Tamże s.48.

69 Tamże s.41–42.

70 Tamże s.61.

- 71 Tamże s.45.
- 72 Tamże s.49.
- 73 *O teoriach materii*. W: *Odczyty i szkice*. Warszawa 1908, s.50–76.
- 74 Tamże s.50.
- 75 Tamże s.55–56.
- 76 Tamże s.60–61.
- 77 Tamże s.62–63.
- 78 Tamże s.63.
- 79 Tamże s.64–65.
- 80 Tamże s.65.
- 81 Tamże s.65–66.
- 82 *O zastosowaniu równań Lagrange'a do teorii wewnętrznej tarcia*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” 1903 t.43 Dz.A s.179–194; *Sur l'application des équations de Lagrange dans la théorie de la viscosité*. „Bull. Int.Acad. Polon.” 1903 s.268–283.
- 83 *Zob. Uwagi o pracach prof. Natansona nad teorią tarcia wewnętrznego*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (9 II) 1903 t.43 dz.A s.14–21;
- O pewnym uogólnieniu klasycznej teorii tarcia wewnętrznego*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (8 VI) 1903 t.43 dz.A s.223–246.
- O pewnym zagadnieniu hydrodynamiki będącym w związku ze zjawiskiem podwójnego załamania światła w cieczach odkształconych i rozbiór pracy prof. Natansona o tym przedmiocie*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (6 VI) 1903 t.43 dz.A s.247–266.
- O pewnej postaci udoskonalonej teorii relaksacji*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (12 X) 1903 t.43 dz.A s.482–502.
- Zasada ruchów względnych i równania mechaniki fizycznej (Odpowiedź prof. Natansonowi)*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (12 X) 1903 t.43 dz.A s.503–510; *Le principe des mouvements relatifs et les equations de la mécanique physique*. „Bull. Int.Acad. Polon.” s.614–621.
- 84 *O stopniu przybliżenia pewnych równań w teorii tarcia wewnętrznego*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (4 V) 1903 t.43 dz.A s.195–222; *Sur l'approximation des certaines équations de la théorie de la viscosité*. „Bull. Int.Acad. Polon.” 1903 s.283–311;
- Uwagi nad teorią zluźniania*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (7 XII) 1903 t.43 dz.A s.595–615; *Remarques sur la théorie de la relaxation*. „Bull. Int.Acad. Polon.” 1904 s.767–787;
- O pewnej właściwości podwójnego załamania światła w cieczach odkształconych mogącej posłużyć do wyznaczenia ich czasu zluźniania*. „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (11 I) 1904 t.44 dz.A s.3–24; *Sur une particularité réfraction accidentelle dans les liquides pouvant servir la détermination de leur temps de relaxation*. „Bull. Int.Acad. Polon.” 1904 s.1–22;
- Sur une particularité réfraction accidentelle dans les liquides*. „Journ. de Phys.” 1905 s.183–190;
- Sur une particularité réfraction accidentelle dans les liquides (Deuxieme note)*. „Journ. de Phys.” 1905 s.783–784;

*Uwagi nad pracami prof. Zaremby, tyżącemi się teorii podwójnego załamania światła w cieczach odkształconych.* „Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Ak.Um.” (11 II) 1904 t.44 dz.A s. 133–143; *Remarques sur les travaux de M.Zaremba relatifs [...] la théorie de la double réfraction accidentelle dans les liquides.* „Bull. Int.Acad. Polon.” 1904 dz.A s.103–113.

<sup>85</sup> *Szkice i Odczyty.* Warszawa 1908, ss.II+131, odpowiednio: s.1–25, 26–49, 50–76.

<sup>86</sup> Przemówienie, wygłoszone w dniu 11-tym kwietnia 1920-go roku, podczas pierwszego inauguracyjnego zgromadzenia Polskiego Towarzystwa Fizycznego. W: *Oblicze Natury.* Kraków 1924 s.177–178.

<sup>87</sup> W: *Pisma Pośmiertne Karola Potkańskiego,* T.I Kraków 1922; W.Natanson. *Oblicze Natury.* Kraków 1924 s.169–174.

<sup>88</sup> Tamże s.170–171; *Wspomnienia i szkice ...*, dz.cyt. s.68–69.

<sup>89</sup> *Pogląd na rodzaje zjawisk w materialnym wszechświecie, Inercya i koercya, Dwa pojęcia ogólne w teorii zjawisk fizycznych, O teoriach materii* (6 XI 1902). W: *Oblicze Natury.* Kraków 1924, odpowiednio, s.15–34, 25–50, 51–87.

<sup>90</sup> Tamże s.49.

<sup>91</sup> Tamże s.49.

<sup>92</sup> Tamże s.70–71.

<sup>93</sup> Tamże s.108.

<sup>94</sup> W: *Porządek Natury.* Kraków 1927, s.151–152.

<sup>95</sup> Eseje te po raz pierwszy były opublikowane w: „Przegląd Współczesny” 1926 nr 47 i, odpowiednio, 1927 nr 62, i w tych samych latach zostały następnie przedrukowane przez Drukarnię „Czasu” oraz przedrukowane w książce pt. *Porządek Natury.* Kraków 1928, odpowiednio, s.1–58 i s.59–122.

<sup>96</sup> *Porządek Natury ...*, s.17–18.

<sup>97</sup> Tamże s.99.

<sup>98</sup> W: *Widnokrąg nauki,* Warszawa 1934, s.183–184.

<sup>99</sup> Przemówienie wygłoszone w Auli Uniwersytetu Jagiellońskiego 15.05.1930 przy okazji przyznania doktora *honoris causa* tego uniwersytetu. W: *Widnokrąg nauki...*, s.267.

<sup>100</sup> List Prof. W.Natansona z 9.02.1935 do A.Piekary, zamieszczony w Przedmowie Prof. Piekary do książki W.Natanson: *Wspomnienia i szkice.* Kraków, 1977, s.15.

<sup>101</sup> *Reciprocal Relation in Irreversible Processes.I.* „Physical Review” 1931 t.37 s.405–426; cz.II: 1931 t.38 s.2265–2279.

<sup>102</sup> K. G u m i ń s k i : *Termodynamika procesów nieodwracalnych.* Warszawa 1986 s.137.

<sup>103</sup> Tamże s.150–154; ponadto K.Gumiński: *On the Natanson Principle of Irreversible Processes.* „Acta Physica Polonica” 1980 vol. A 58 s.501–507.

<sup>104</sup> Choć Onsager nie cytował w swoich dwóch słynnych artykułach z 1931 roku żadnej z prac Natansona, nie oznacza to, że ich nie znał, choćby tylko w pośredni sposób. Gdyby nawet przyjąć mało prawdopodobną dla mnie hipotezę, że Onsager nie znał prac Natansona przed datą publikacji w *Physical Review* (1931), liczne podobieństwa tych teorii mogą być już potraktowane jako dowód wagi rozważań samego Natansona, który trafnie kontynuował wcześniejsze rozważania Lorda Kelwina na temat dysypacji energii i Lorda

Rayleigha na temat funkcji dysypacyjnej (zdefiniowanej w kontekście dynamiki nieodwracalnej).

<sup>105</sup> Co więcej, na marginesie powyższych rozważań na temat Natansona i Onsagera, możemy wysnuć następujący wniosek. Fleck, i jego wzorem Kuhn, nie mylili się argumentując na przykładach zaczerpniętych (odpowiednio) z medycyny i nauk przyrodniczych, że w paradygmatycznej fazie rozwoju nauki ma miejsce deprecjacja znaczenia historii dyscypliny i filozofii jej uprawiania. To właśnie zdarzyło się w pracach Onsagera i jego następców.

<sup>106</sup> Temat ten jest integralną częścią mojego programu badań natansonowskich (w tej kwestii zob. przyp. 1).

<sup>107</sup> Co podkreślałem w referacie wygłoszonym na XIX Międzynarodowym Kongresie Historii Nauki (Saragossa 1993) i w programie badawczym przedstawionym na łamach „Kwartalnika Historii Nauki i Techniki” 1993 nr 4.

<sup>108</sup> Zob. C. Truesdell, W. Noll: *The Non-Linear Field Theories of Mechanics*. W: *Encyclopedia of Physics* (Edited by S. Flügge) 1965 t. III/3 s. 47.

<sup>109</sup> Zob. C. Truesdell: *Rational Thermodynamics*. New York 1969; Berlin 1988 wyd. II; C. Truesdell, R.G. Muncaster: *Fundamentals of Maxwell's Kinetic Theory of a Simple Monatomic Gas Treated as a Branch of Rational Mechanics*. New York-London-Toronto-Sydney-San Francisco 1980 s. XXVIII + 594.

<sup>110</sup> W tej kwestii zob. G. Lebon, D. Jou, J. Casas-Vazquez: *An extension of the local equilibrium hypothesis*. „J. Phys. A: Math. Gen.” 1980 t. 13 s. 275–290, tutaj s. 286–287.

<sup>111</sup> Zagadnienia te zostały opisane w moim artykule cytowanym w przyp. 1.

<sup>112</sup> Natanson przeoczył istnienie tej bezpośredniej zależności. Zob. p. 111 oraz s. 28–29 cytowanego artykułu.

<sup>113</sup> Zob. np.: B.A. Finlayson, L.E. Scriven: *On the Search for Variational Principles*. „Int. J. Heat Mass Transfer” 1967 Vol. 10 pp. 799–821.

M.A. Biot: *Variational Principles in Heat Transfer. A Unified Lagrangian Analysis of Dissipative Phenomena*. Oxford 1970.

G. Lebon: *A New Variational Principle for the Non-linear Unsteady Heat-Conduction Problem*. „[Q.J] Mech. appl. Math.” 1976 Vol. XXIX, Pt. 4, pp. 499–509.

S. Sieniutycz: *The Variational Principles of Classical Type for Non-coupled Non-stationary Irreversible Transport Processes with Convective Motion and Relaxation*. „Int. J. Heat Mass Transfer” 1977 Vol. 20, pp. 1221–1231.

M. Grmela, J. Teichmann: *Lagrangian Formulation of the Maxwell-Cattaneo Hydrodynamics*. „Int. J. Engng Sci.” 1983 Vol. 21, No. 4, pp. 297–313.

*Michał Kokowski*

ON NATANSON'S ATTEMPTS TO CREATE  
THERMODYNAMICS OF IRREVERSIBLE PROCESSES  
(ON THE OCCASION OF THE CENTENARY  
OF NATANSON'S THERMOKINETIC PRINCIPLE)

The most important scientific task of Władysław Natanson (1864–1937) during 1879–1937 was to discover a unified fundamental theory of quasi-reversible and irreversible phenomena, and, what was strictly connected with this subject, to discover the laws and theory of dissipation of energy.

He wrote almost sixty comprehensive works on this subject. He presented there not only his calculations but also the historico-methodological genesis and analyses of his ideas.

Natanson's research may be divided into six chronological periods: (1) 1879–1887, (2) 1887–1889, (3) 1889–1895, (4) 1895–1902, (5) 1903–1904, (6) 1905–1937.

As Natanson viewed physics from the perspective of the history and methodology of physics, in developing his approach, he referred to the work of many scientists, especially: Newton – on dynamics, and the issue of the propagation of sound in air; Laplace – on adiabatic dynamics; Fourier – on analytical theory of heat; Lord Kelvin – on the idea of dissipation of energy; Poisson, Navier and Stokes – on hydrodynamics; Maxwell – on the kinetic part of dynamical theory of gases, the idea of relaxation, the idea of generalized diffusion; Lord Rayleigh – on the idea of irreversible dynamics; Lord Kelvin, Rankine, Clausius, Helmholtz, Gibbs, Duhem – thermodynamics (which, being only a theory of equilibrium was according to Natanson, on the level of the Newtonian statics, thus it was only thermostatics); Lagrange, Hamilton, Helmholtz – analytical dynamics, especially, Lagrangian equations, hamiltonian principle, and Helmholtz' variational principle; Duhem – on generalized thermodynamics, energetics or generalized dynamics.

Basing on those ideas, he formulated the thermokinetic theory, in which the key part is played by the variational thermokinetic principle that is supplemented by the hypothesis of coercion, strictly connected with the function of dissipation of energy (calculated in the case of heat from the kinetic part of Maxwell's dynamical theory of gases). The thermokinetic principle expressed both reversible and irreversible processes, but from the very beginning the hypothesis of coercion was restricted to the linear approximation by assuming that Maxwell's relaxation hypothesis is valid at least near an equilibrium. Within the context of this theory, Natanson on many occasion repeated that inertia and coercion are axes of all phenomena.

Next, developing Maxwell's conceptions, Natanson deduced the equations of generalized diffusion (of energy, quantity of motion, and mass), which are more general than the equations of Fourier's type, since the latter are limiting cases of the former. He was developing this approach up to 1904, deducing different consequences of thermokinetic theory restricted by Maxwell's linear hypothesis of relaxation. Natanson wanted to suppress this limitation, but couldn't find the general laws of dissipation of energy. In

consequence, his programme of search for a unified fundamental theory of irreversible phenomena collapsed.

From 1905 up to his death in 1937 he gave up publishing new mathematical results relating to this subject, but he continued to reflect on it, which one can see reading his historico–methodological essays and letters.

The article also presents a comparison of Natanson's attempts to create thermodynamics of irreversible processes and the later trends in this field – such as Classical Irreversible Thermodynamics (L.Onsager, I.Prigogine), Rational Thermodynamics (C.Truesdell, B.D.Colleman and W.Noll) and Extended Irreversible Thermodynamics (G.Lebon, D.Jou, J.Casas-Vazquez, I.Müller, T.Ruggeri). The conclusion drawn from this comparison is that the historical, philosophical and scientific literature unjustly leaves out an account of Natanson's investigations.

Firstly, his works were or should have been known at the turn of 19th century, since he wrote them in four different language versions: Polish, French, German and English, and published them, among others places, in: „Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności”, „Bulletin International de l'Academie Polonaise”, „Philosophical Magazine”, „Journal of Physical Chemistry”, „Zeitschrift für physikalische Chemie” and „Comptes Rendus de l'Academie Française”.

Secondly, these works have great value for the philosophy of science, since they provide fine documentation of a scientific discovery.

Thirdly, Natanson's scientific ideas were and are still alive in contemporary trends of thermodynamics of irreversible phenomena like: Classical Irreversible Thermodynamics (L.Onsager, I.Prigogine), Rational Thermodynamics (C.Truesdell, B.D.Colleman and W.Noll) and, especially, Extended Irreversible Thermodynamics (G.Lebon, D.Jou, J.Casas-Vazquez, I.Müller, T.Ruggeri).